

Helen Polas

Teräsrakenteisen pressuhallin rakenteen varmistaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Helen Polas

Työn nimi: Teräsrakenteisen pressuhallin rakenteen varmistaminen

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 60

Liitteiden lukumäärä: 7

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa tilaajalle viranomaisten vaatimat lupakuvat ja laskelmat vaurioituneen pressuhallin uudelleen pystytystä varten. Suunnittelutyöhön kuului kuormien kantavuuden tarkastelu Autodesk Robot Structural Professional 2014 -ohjelmalla ja rakenteen kestävyysparantaminen.

Lopuksi esitetään perustusratkaisuksi ankkurointiperustusta ja tarkastellaan teräsrakenteen liitosten kestävyyttä. Opinnäytetyöhön ei kuulu LVIS-suunnitelmia.

Avainsanat: teräsrakenne, teräs, rakenne

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Helen Polas

Title of thesis: Securing the structure of a steel structured canvas hall

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2015

Number of pages: 60

Number of appendices: 7

The purpose of the thesis was to get new images for the authorities of a damaged canvas hall to rebuild the hall for storage use. In the thesis the required calculations were also made. The planning work included a load bearing analysis with Autodesk Robot Structural Professional 2014 –program and improving structure resistance.

In the end anchoring was suggested as a foundation as well as the joint durability of the steel structures was reviewed. The thesis does not include HVAC-plans.

Keywords: steel structure, steel, structure

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	12
1.1 Työn rajaus	12
1.2 Työn tavoitteet	13
1.3 Tilaaja	13
2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT	14
2.1 Työn taustatiedot	14
2.2 Perustiedot.....	16
2.3 Vauriotarkastelu.....	17
3 VETOKOE	18
3.1 Teräksen lujuusluokan määrittäminen.....	18
3.2 Kokeen suorittaminen	18
3.3 Tulokset	19
4 KUORMITUKSET	20
4.1 Omapaino	20
4.2 Lumikuorma	20
4.3 Tuulikuorma	22
4.3.1 Tuulikuorma voimakerronmenetelmällä	23
4.3.2 Tuulikuorma painekerronmenetelmällä	27
4.4 Kuormitusyhdistelmät.....	29
4.4.1 Rajatilamitoitus	29
4.4.2 Osavarmuuskertoimet.....	30
4.4.3 Käyttörajatila	31
4.4.4 Murtorajatila	32
5 RAKENTEEN KANTAVUUDEN TARKASTELU	34
5.1 Autodesk Robotista saatujen tulosten analysointi.....	34

5.2 Sauvojen kestävyys	35
5.2.1 Yläpaarten tarkastelu	36
5.2.2 Alapaarten tarkastelu	39
6 JÄYKISTYS.....	41
6.1 Jäykistyskuormat	41
6.2 Seinän vinojäykisteiden kiinnitys.....	47
7 LISÄTUENTA.....	51
7.1 Katto-orsien välin tihentäminen.....	51
7.2 Katto-orren ja ristikon välisen liitoksen tarkastelu	51
8 PERUSTUKSET	56
9 YHTEENVETO.....	58
LÄHTEET	59
LIITTEET	60

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Havainnekuva hallin rakenteesta.	12
Kuvio 2. Leikkauskuva hallista A-A.	14
Kuvio 3. Julkisivukuvat hallista.....	15
Kuvio 4. Pohjapiirustus hallista.	15
Kuvio 5. Lumen kasaantuminen.....	17
Kuvio 6. Jännitysvenymäkuvaaja (Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2014).....	18
Kuvio 7. Kaarikaton lumikuorman kuormituskaaviot (RIL 201-1--2011, 97).	21
Kuvio 8. Lumen ominaisarvot maassa rakennuspaikan sijainnin mukaan (kN/m ²) (RIL 201-1-2011, 92).....	21
Kuvio 9. Nopeuspaineen suurennuskertoimen määrittäminen (RIL 201-1-2011, 129).....	26
Kuvio 10. Rakennuksen pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio (EN 1994-1-4).	28
Kuvio 11. Ulkopuolisen paineen kertoimen $C_{ep,10}$ suositeltu arvo rakennuksille, jotka ovat pohjaltaan suorakaiteen muotoisia (RIL 201-1-2011, 156).	29
Kuvio 12. Normaalivoimakuvio.....	35
Kuvio 13. Hallin jäykistys.	41
Kuvio 14. Päädyn tuulikuorma.	41
Kuvio 15. Puristussauvan mitoitusarvot.	44
Kuvio 16. Seinän pituussuuntainen jäykistys.	45
Kuvio 17. Vinositeen liitos pilariin.....	47

Kuvio 18. Katto-orsien tiivistäminen.....	51
Kuvio 19. Katto-orren ja ristikon välinen liitos.	52
Kuvio 20. Pressuhallin ankkurointi (Pressuhallit 2012).	56
 Taulukko 1. Lujuusluokkien S235- S460 terästen myötölujuuden ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (Ongelin ja Valkonen 2010, 27).	19
Taulukko 2. Voimakertoimen C_f määrittäminen (RIL 201-1-2011, 137.)	24
Taulukko 3. Nopeuspaineen ominaisarvo (kN/m^2) maastoluokan ja korkeuden mukaan (RIL 201-1-2011, 133.)	25
Taulukko 4. Seuraamusluokat (EN 1990, taulukko B1).....	30
Taulukko 5. Muuttuvan kuorman yhdistelmäkertoimet (RIL 201-1-2011, 36).....	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

Latinalaiset isot ja pienet kirjaimet

A	Poikkileikkauksen pinta-ala
a	Hitsin paksuus
As	Poikkileikkausala ruuvien kierteiden kohdalta
A_{ref}	Tuulen vaikutusala
CC1	Seuraamusluokka
C_e	Tuulensuojaisuuskerroin
C_f	Voimakkeroin
C_sC_d	Rakennekerroin
C_t	Lämpökerroin
d	Ruuvien halkaisija
do	Ruuvien reiän vaatima halkaisija
e1	Ruuvien päätyetäisyys
e2	Ruuvien reunaetäisyys
F_{d,Rd}	Reunapuristuskestävyys
f_y	Teräksen lujuusluokka
f_u	vetomurtolujuuden arvo
f_{ud}	Ruuvien murtolujuus
F_{v,Rd}	Ruuvien leikkauskestävyys
F_{w, k}	Kokonaistuulivoima
F_w, päätyseinä	Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vasten

Fw , sivuseinä	Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vasten
G_{kj}	Pysyvän kuorman ominaisarvo (epäedullisen tai edullisen aiheuttavat)
h	Korkeus
hw	sauvan korkeus
l_s	Lumen kinostumapituus
ly	Neliömomentti
L_{cry}	Sauvan nurjahdus pituus
Lu	Mäen pituus harjalle
M_{ed}	Taivutusmomentin mitoitusarvo
$M_{pl,Rd}$	Taivutuskestävyys
N_{cd}	Sauvavoima
N_{cry}	Nurjahduskuorma
$N_{dy,Rd}$	Nurjahduskestävyys
$N_{t,Rd}$	Nettopoikkileikkauksen vetokestävyys
P_2	Ruuvien keskivälin pituus voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa
P_3	Paloluokka
$Q_{k,1}$	Pääasiallisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,i}$	Muu muuttuva kuorman ominaisarvo
$q_p(h)$	Tuulennopeuspaineenarvo
$q_p(z)$	Modifioitu tuulennopeuspaineenarvo
s	Lumikuorman ominaisarvo katolla

S_k	Lumikuorman ominaisarvo maassa
S_q	Jäykistejärjestelmän taipuma
S_{275}	Teräksen lujuusluokka
t	Rakenteen paksuus
V_{Ed}	Leikkausvoima mitoitusarvo
$V_{e,Rd}$	Leikkauskestävyys
x	Rakennuspaikan sijainti mäenharjalta
W_{pl}	Plastinen taivutusvastus

Kreikkalaiset isot ja piennet kirjaimet

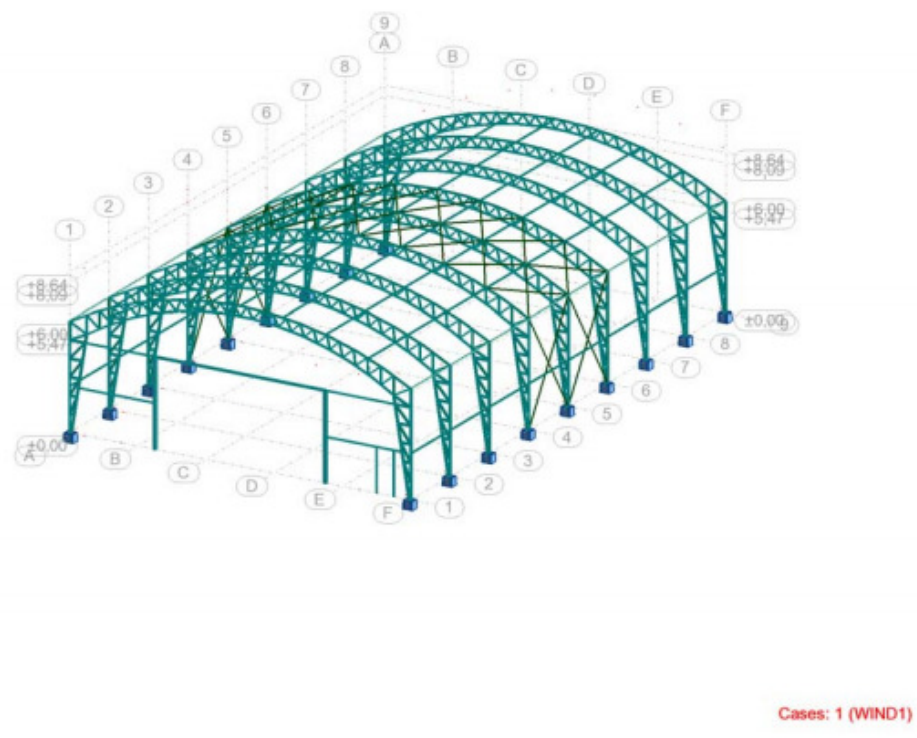
β_w	Korrelaatiokerroin
μ_i	Lumikuorman muotokerroin
μ_3	Lumikuorman muotokerroin kinostuvallelumelle
λ	Tehollinen hoikkuus
ϕ	Mäen kaltevuus
Φ	Apusuure
ψ_0	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
ψ_1	Muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin
ψ_2	Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin
λ_y	Muunnettu hoikkuus
X_y	Pienennystekijä
γ_{M0}	Teräksen osavarmuusluku kestävyystarkastelussa

YM1	Teräksen osavarmuusluku stadillisuuden menetyksen suhteen
YM2	Teräksen osavarmuusluku
γD	Maastonkohouman suurennuskerroin

1 JOHDANTO

1.1 Työn rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on saada laskettua olemassa olevalle pressu-hallille uudet lujuuslaskelmat. Työn ensimmäisessä vaiheessa käsitellään teräksen lujuusarvon selvittämistä vetokokeen avulla. Toisessa vaiheessa esitetään rakenteelle tulevat kuormat. Kuormien vaikutusta rakenteelle tarkastellaan Autodesk Robot Structural Professional 2014 -ohjelmalla. Lopuksi parannetaan rakenteen kestävyyttä ja selvitetään syitä rakenteen päädyn romahtamiselle. Liitteinä on eri ohjelmista saadut tulokset ja kohteeseen tehdyt uudet piirustukset.



Kuvio 1. Havainnekuva hallin rakenteesta.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on saada hallille uusi rakennuslupa uuteen pystytyspaikkaan. Vanhat lupakuvat ja tiedot hallista eivät riittäneet yksinään rakennusluvan myöntämiseen. Lupaa varten on esitettävä uudet lujuuslaskelmat. Työn toisena tavoitteena on selvittää, miksi hallin päätysauvat nurjahtivat ja miten rakennetta parannetaan jatkossa nurjahtamisen estämiseksi. Yläpuolella kuviossa 1 on havainnekuva hallin rakenteesta.

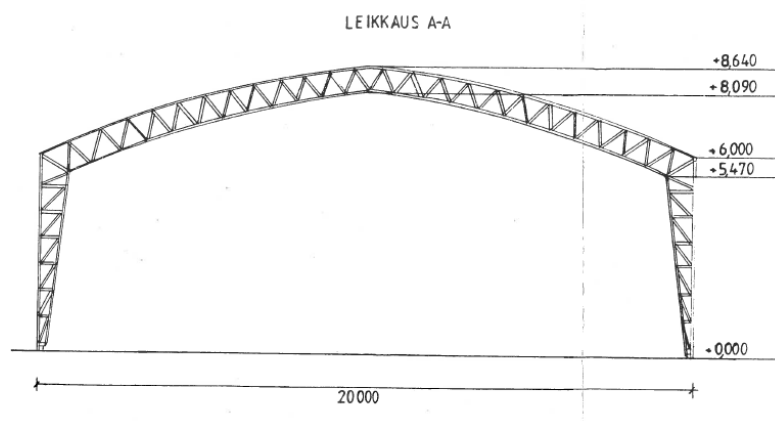
1.3 Tilaaja

Työn tilaajana on Intolog Oy:n Espoon toimipiste. Yritys myy ja suunnittelee logistiikka ja säilytysratkaisuja. Suurin osa Intologin tuotevalikoimasta on heti noudettavissa varastosta, jonka vuoksi tarvitaan säilytystilaa tuotteille. Yrityksen tarkoituksena on pystyttää halli omaan käyttöön tavaroiden varastoimista varten. Yrityksellä on hallin rakenteet jo valmiina odottamassa pystytyslupaa (Intolog 2015).

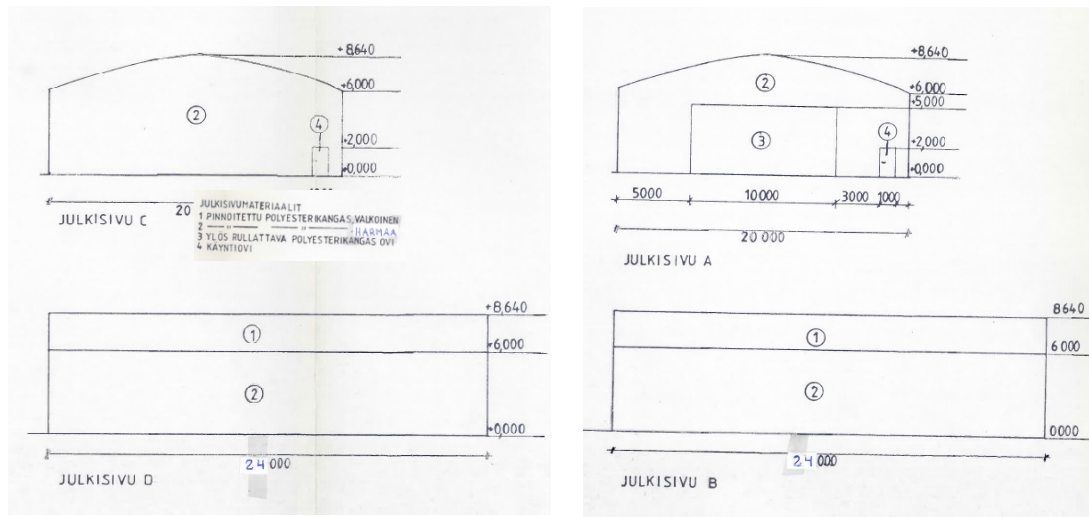
2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT

2.1 Työn taustatiedot

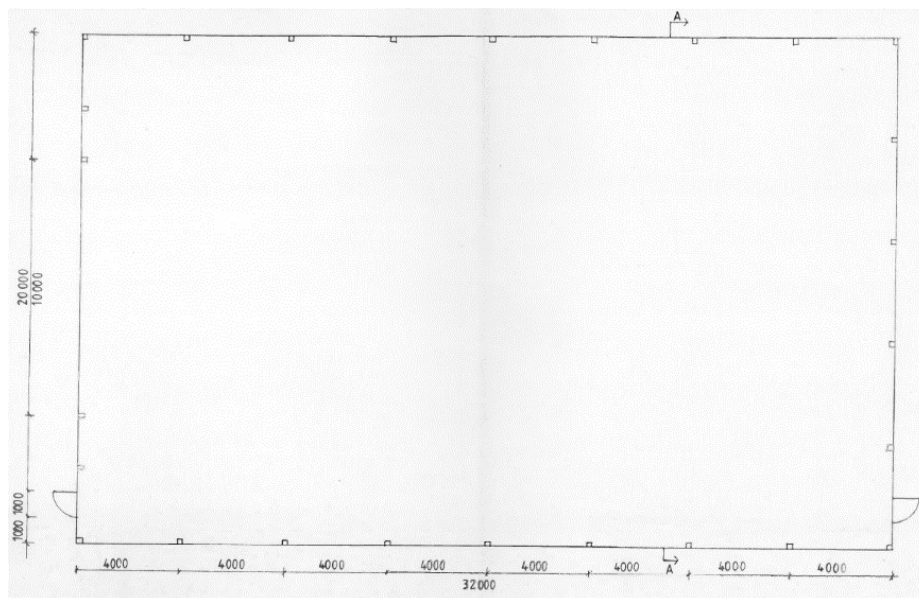
Halli on aikaisemmin pystytetty vuonna 1999 Vantaalle ja se on toiminut ilmailumuseosäätiön käytössä pienlentokonehallina. Ilmailusäätiö on tilannut hallin alun perin uutena ruotsalaiselta hallivalmistajalta. Tänä päivän hallin valmistanutta yritystä ei ole enää olemassa, joten puuttuvia tietoja ei ole saatavilla. Hallin nykyinen omistaja luovutti käytettäväksi kaikki hallista saatavilla olevat tositteet. Rakennuslupaa varten halliin tarvittavia kantavuuslaskelmia ei näissä ollut. Hallin vanhoista lupakuvista on alapuolella esitettyinä leikkauskuva A-A (kuvio 2), julkisivukuvat (kuvio 3) sekä pohjapiirustus (Kuvio 4).



Kuvio 2. Leikkauskuva hallista A-A.



Kuvio 3. Julkisivukuvat hallista.



Kuvio 4. Pohjapiirustus hallista.

Hallista saadut vanhat piirustukset ja tositteet olivat osittain puutteellisia ja epätarkkoja. Hallin teräksen arvoa ei vanhoista lähtötiedoista löytynyt. Teräksen arvon selvittämiseksi jouduttiin tekemään vetokoe Seinäjoen ammattikorkeakoulun aineen-koetuslaitteella. Hallin rakenneterästen profiilikokojen tietoja ei myöskään ollut mainittuna. Rakennesauvojen profiilikoot mitattiin työntömitalla.

Hallin päädyn viimeinen tolpparivi nurjahti suurilumisena talvena. Nurjahtaneen tolpparivin rakenteet ovat vääntyneet mutkalle ja ovat näin käyttökelvottomia. Tilaaja ei ole halukas kustantamaan uusia teräsrakenteita nurjahtaneeseen kohtaan, joten uusi halli tulee olemaan vanhan 32 metrisen sijasta 24 metriä pitkä.

2.2 Perustiedot

Kohteen nimi:	Isohalli
Osoite:	Espoo
Pääkäyttötarkoitus:	Varastorakennus
Seuraamusluokka:	CC1 (RIL 201-1-2011, 24)
Paloluokka:	P3 (RT 08-11139)
Pääasiallinen rakennusmateriaali:	Sinkitty teräs
Pääasiallinen rakennustapa:	Työmaalla asennettava konepajassa valmistettu teräsrunko
Kerrosluku:	1
Kokonaiskorkeus:	8,64 m
Brutto pinta-ala:	20 × 32 m ² (alkuperäinen) 20 x 24 m ² (uusi)
Rakennuskohteen kuvaus:	Rakennus on teräsrunkoinen, pressupeatteen kylmä halli
Perustamismaaperä:	Moreeni
Perustamistapa:	Anturaperustus
Rakennuspaikka	Rakennuspaikka sijaitsee tuulisen mäen päällä Espoon teollisuusalueella. Halli on tarkoitus pystyttää yrityksen piha-alueelle. Piha-alueella on tehty massan vaihtoja ja koko alue on asfaltoitu.
Pilarit:	Rakenneputkista koottu ristikko
Katon pääkannatteet:	Rakenneputkista koottu ristikko
Rakennusrungon jäykistys:	Rakennus on jäykistetty poikkisuunnassa mastopilarein ja katonpääkannattajien väliin asennetuilla vaijerisilla jäykisterikoilla. Rungon pituussuunnassa rakennus on jäykistetty mastopilarein ja pääkannattajien väliin asennetuilla vaijerisilla jäykisteristikoilla. Jäykisteristikot on sijoitettu rakenteen keskelle.

2.3 Vauriotarkastelu

Hallin kaksi viimeistä kehärakennetta pettivät suurilumisena talvena. Romahduksessa hallin pystytuet kaatuivat sisäänpäin. Romahdus johtui lumen pääsemisestä kasaantumaan kattotukien väliin löystyneeseen pressuun.

Lumen painon aiheuttamat vauriot oli havaittu ennen hallin romahtamista. Hallin pressu oli aikaisempinakin talvina päässyt löystymään ja muodostamaan pusseja, joihin lumi kasaantui. Vauriot ilmenivät liitoksien vääntymisellä ja teräsrakenteiden notkahtamisella. Havaittua ongelmaa oli yritetty korjata lisäämällä kattoon erilaisia teräsputkia ja vaijereita satunnaisesti. Pressukangasta oli myös kiristetty löystymisen estämiseksi. Lumen kinostuessa pusseihin kattokannattimen väliin jäävä lumi-kuormanarvo oli monikertainen verrattuna laskennallisesti huomioon otettuun kuormanarvoon. Kuviossa 5 on esitetty lumen kasaantuminen pusseihin.



Kuvio 5. Lumen kasaantuminen.

Vanhoista rakennuspiirustuksista ei selviä, millainen päätyseinän jäykisteratkaisu oli romahtaneessa päässä. Vanhoissa kuvista saa käsityksen päätyseinällä olleen pystyjäykisteitä. Hallia purkaneet työmiehet ja omistaja esittävät tästä eriävän mielipiteen. Vanhat kuvat ovat osoittautuneet virheellisiksi muissakin hallin rakennekohdissa. Epäselväksi jää, millainen jäykisteratkaisu romahtaneessa päätyseinässä oli.

3 VETOKOE

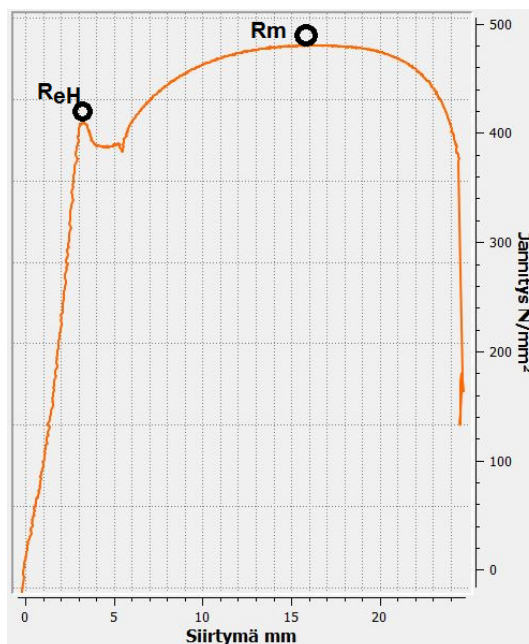
3.1 Teräksen lujuusluokan määrittäminen

Vetokokeen tarkoituksena oli selvittää teräksen lujuusluokka. Vetokokeessa määritettiin muotoon työstetty sauva vedetään poikki. Tuloksena saadaan jännitys-venymä-kuvaaja, josta määritetään myötölujuus ja murtolujuus. Myötö- ja murtolujuuden mukaan määritetään teräksen lujuusluokka. (Kumar & Marikainen 2010, 20.)

3.2 Kokeen suorittaminen

Vetokoe tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratorion aineenkoetuslaitteella (Matertest 250 kN). Kokeen suoritti Seinäjoen ammattikorkeakoulun projekti-insinööri. Vetokokeessa käytettiin kattoristikon sinkittyä U-palkkia.

Kokeen tuloksina saatiin myötölujuus (R_{eH}) 410 MPa \pm 5 % ja murtolujuus (R_m) 480 MPa \pm 5 %. Sauvan paksuus 4,3 mm mitattiin ohuimmasta kohdasta sinkin päältä. Puristuskokeesta saatiin jännitysvenymäkuvaaja, joka on esitetty kuviossa 6. (Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2014.)



Kuvio 6. Jännitysvenymäkuvaaja (Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2014).

3.3 Tulokset

Alla olevan taulukon 1 avulla määritetään teräksen lujuusluokka. Vetokokeessa myötälujuuden arvo 410 MPa antaa teräksen lujuusluokaksi S355 taulukon mukaan. Murtolujuuden arvo 480 MPa antaa teräksen lujuusluokaksi S275. Näin ollen teräksen lujuusluokka määräytyy heikomman mukaan. Teräksen lujuusluokaksi valittiin S275. (Ongelin & Valkonen 2010, 27.)

Taulukko 1. Lujuusluokkien S235- S460 terästen myötölujuuden ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (Ongelin & Valkonen 2010, 27).

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	490	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
Tämän taulukon arvot ovat Eurocoden osassa EN 1993-1-1 esitetyt yksinkertaistetut arvot, joita on käytetty tämän käsikirjan laskuesimerkeissä. Maakohtaiset vaatimukset on tarkastettava kyseisen maan kansallisesta liitteestä (= NA, National Annex).				

4 KUORMITUKSET

4.1 Omapaino

Rakenteen omapaino on laskettu nimellismittojen perusteella. Nimellismitat on laskettu vanhoissa piirustuksissa esitettyjen arvojen perusteella. Vanhoissa piirustuksissa esitetyt arvot ovat puutteellisia, mikä aiheuttaa laskentaan epätarkkuutta. (RIL 201-2-2011, 59).

4.2 Lumikuorma

Katon lumikuorman määrittäminen RIL 201-1-2011, Suunnittelunperusteet ja rakenteiden kuormat kirjan mukaan:

Lumikuorman suuruus määräytyy maanpinnan lumikuorman ominaisarvosta ja katon muuntokertoimesta. Katon lumikuorman arvo saadaan määritettyä seuraavasta kaavasta:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (1)$$

missä

μ_i = lumikuorman muotokerroin (kuva 5)

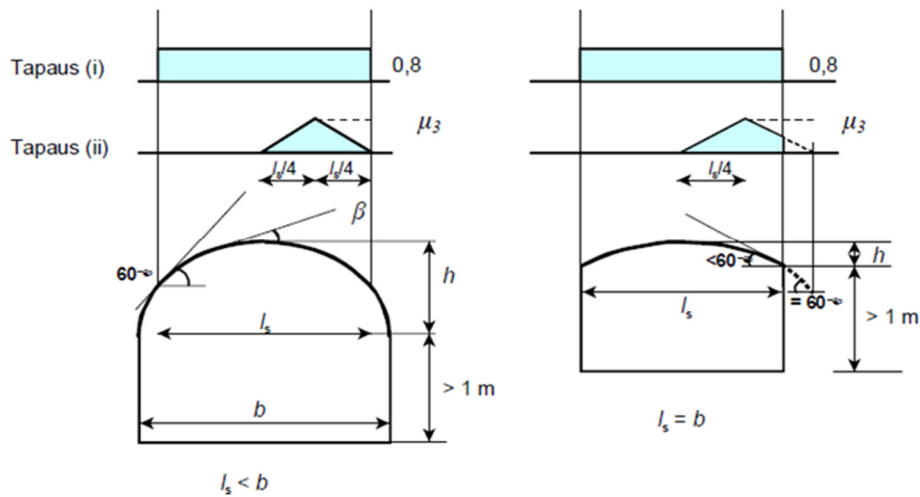
s_k = lumikuorman ominaisarvo paikkakunta kohtaisesti (kuva 6)

C_e = tuulensuojaisuuskerroin, tavallisesti 1,0 tai tuuliselle maastolle 0,8

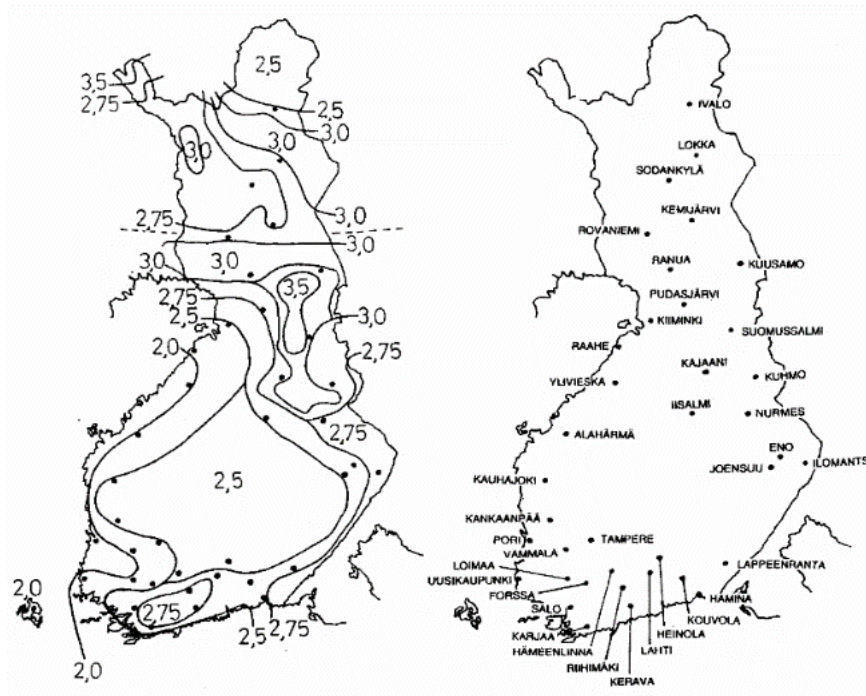
C_t = lämpökerroin, tavallisesti 1,0

(RIL 201-1-2011. 2011, 94.)

Katon lumikuorman arvoa laskiessa tulee ottaa huomioon sekä kinostumattoman että kinostuneen lumen aiheuttama vaikutus. Kinostuneen ja kinostumattoman lumen muotokertoimet esitetään kaareville katoille kuviossa 7, sekä maassa olevan lumikuorman ominaisarvot aluekohtaisesti esitetään kuviossa 8. Kartassa esitetyt lumikuorman ominaisarvot ovat minimiarvoja.



Kuvio 7. Kaarikaton lumikuorman kuormituskaaviot (RIL 201-1--2011, 97).



Kuvio 8. Lumen ominaisarvot maassa rakennuspaikan sijainnin mukaan (kN/m²) (RIL 201-1-2011, 92).

Tapaus (i): kinostumattoman lumen ominaisarvoksi saadaan seuraavasti

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s = 0,8 \cdot 2,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \quad \rightarrow 2,2 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Tapaus (ii): kinostuneen lumen ominaisarvo saadaan seuraavasti

Lumiesteiden puuttuessa kaarevan katon kinostuva lumikuorma voidaan määrittää seuraavasti:

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3)$$

Muotokerroin μ_3 kinostumalle määräytyy seuraavasti:

$$\text{Kun } \beta > 60^\circ \quad \text{on } \mu_3 = 0$$

$$\text{Kun } \beta \leq 60^\circ \quad \text{on } \mu_3 = 0,2 + 10 \cdot h / b < 2,0$$

(RIL 201-1-2011 2011, 98)

Kinostuvan lumen ominaiskuorman arvoksi saadaan

$$s = 1,52 \cdot 2,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \quad \rightarrow 4,18 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

Kinostumapituus

Kinostumasta aiheutuvan kolmion pituus on $\rightarrow l_s = 2/l_s$

(Katso kuva 7, kaarikaton lumikuorman muotokertoimen arvon)

(RIL 201-1-2011, 97.)

4.3 Tuulikuorma

Tuulikuorman arvo voidaan määrittää kahdella tavalla, joko voimakerroinmenetelmällä tai painekerroinmenetelmällä. Molemmista menetelmistä saatuja arvoja voidaan käyttää jäykistävän rungon ja perustusten mitoittamisessa. Voimakerroinmenetelmässä oletetaan rakenteen harjalla olevan tuulenpaineenarvon vaikuttavan

yhtä suurena koko rakennukseen. Paine kerroin menetelmässä rakennukseen vaikuttavan tuulikuorman arvo määritetään osapintojen pintapaineiden avulla sekä tarvittaessa huomioimalla osapinnoista aiheutuva kitkakuorma. (Puuinfo 2010.)

Käsitellään rakennukseen vaikuttavien tuulikuorman arvojen suuruutta kaarevalle hallille RIL 201-1-2011, Suunnittelunperusteet ja rakenteiden kuormat kirjan mukaan.

4.3.1 Tuulikuorma voimakerroinmenetelmällä

Rakennuksen kokonaistuulikuorman arvo voimakerroinmenetelmää käyttäen voidaan määrittää seuraavasta kaavasta:

$$F_{w,k} = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} \quad (5)$$

missä

$F_{w,k}$ = rakennuksen kokonaistuulikuorma (kN)

$C_s C_d$ = rakennekerroin rakennuksen korkeuden ollessa alle 15 m on voidaan käyttää arvoa 1

C_f = voimakerroin (ks. taulukko 2)

$q_p(h)$ = maastoluokan ja maaston muodon mukaan määräytyvä tuulen nopeuspaineen arvo harjan korkeudella

A_{ref} = vaikutusala

Voimakertoimen C_f määrittäminen

Voimakerroin C_f määritetään sivusuhteen ja tehollisen hoikkuuden avulla seuraavasti taulukon 2 avulla:

$$\text{Sivusuhte} = d/b \quad (6)$$

missä

d = rakennuksen tuulensuuntaisen sivun pituus

b = kohtisuoraan tuulen suuntaan olevan sivun pituus

Tehollinen hoikkuus λ saadaan lausekkeesta:

$$\text{Kun } h < 15 \text{ m} \quad \lambda = 2 * h / b \quad (7)$$

$$\text{Kun } h \geq 15 \text{ m} \quad \lambda = 1,4 * h / b \quad (8)$$

Taulukko 2. Voimakertoimen C_f määrittäminen (RIL 201-1-2011, 137).

Sivusuhte d/b									
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,20	1,20	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Nopeuspaineen $q_p(h)$ määrittäminen

Nopeuspaineenarvo $q_p(h)$ saadaan määritettyä taulukosta 3 rakennuksen maastoluokan ja korkeuden mukaan.

Maastoluokan valinta rakennuspaikan sijainnin mukaan

Maastoluokka 0: meren ranta

Maastoluokka I: järven ranta tai tasainen avomasto

Maastoluokka II: alue, jolla matalaa kasvillisuutta ja vain harvakseltaan muita esteitä, kuten puita ja rakennuksia

Maastoluokka III: alue, jota suojaa säännöllinen ja korkea kasvipeite tai jossa on rakennuksia tai erilisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan, kuten kylät, esikaupunkialueet ja metsät

Maastoluokka IV: alue, jossa rakennusten keskimääräinen korkeus ylittää 15m ja alue on tiehään rakennettu (kaupunkialue)

Taulukko 3. Nopeuspaineen ominaisarvo (kN/m²) maastoluokan ja korkeuden mukaan (RIL 201-1-2011, 133.)

Z(m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,4
20	1,24	0,88	0,77	0,6	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,5
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,4	1,01	0,91	0,74	0,6

Rakennuspaikan sijaitessa mäkisessä maastossa tulee tuulennopeuspaineen arvoon lisäys. Lisäyksen suuruus muodostuu mäen kaltevuudesta ja rakennuspaikasta riippuvasta kertoimesta. Lisäys otetaan huomioon, jos maaston kaltevuus suhde ylittää arvon 0,05 (*RIL 201-1-2011, 133*).

Mäkisen maaston vaikutus nopeuspaineeseen saadaan laskettua seuraavasti:

$$q_p(z) = y_D \cdot q_p(h) \quad (9)$$

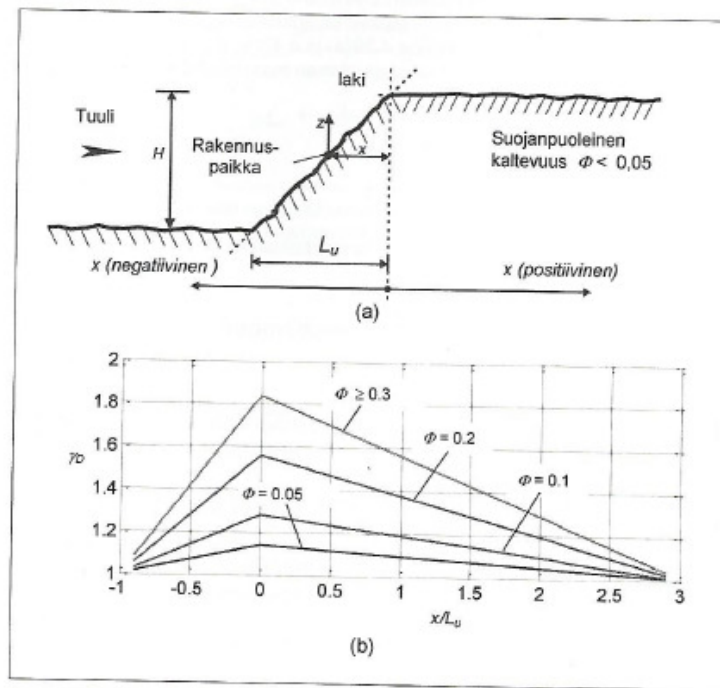
$$y_D = 1 + 2,8 \cdot \phi \cdot (1 + (x / L_u)) \quad (10)$$

missä

ϕ = mäenkaltevuus (korkeus / matkalla)

x = rakennuspaikan korkeus mäen harjalta

L_u = mäen pituus harjalle



Kuva 4.3S. Nopeuspaineen suurennuskertoimen γ_D toispuoleisille maastonkohoumille. (a) Parametrien määrittely, (b) Suurennuskertoimen. Jos $\phi > 0,3$, korvataan kuvassa (b) vaakaa-akselin muuttuja x/L_u parametrilla $x/(H/0,3)$, kun $x > 0$.

Kuvio 9. Nopeuspaineen suurennuskertoimen määrittäminen (RIL 201-1-2011, 129).

Tuulikuormien ominaisarvojen laskemien voimakerroinmenetelmällä

$$\text{Nopeuspaine } q_p(h) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Mäenkaltevuus } \phi = 0,22$$

$$\text{Modifioitunut nopeuspaine } q_p(z) = 0,98 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rakennekerroin } C_s C_d = 1,0$$

$$\text{Tehollinen hoikkuus } \lambda, \text{ sivuseinä} = 0,375$$

$$\lambda, \text{ päätyseinä} = 0,9$$

$$\text{Sivusuhte } d/b, \text{ sivuseinä} = 0,625$$

$$d/b, \text{ päätyseinä} = 0,625$$

$$\text{Voimakerroin } C_f, \text{ sivuseinä} = 1,3 \text{ (interpoloitu)}$$

$$C_f, \text{ päätyseinä} = 1,3$$

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vasten neliökuormana

$$F_w, \text{ sivuseinä} = C_s C_d * C_f * q_p(z) \quad (11)$$

$$F_w, \text{ sivuseinä} = 1,0 * 1,3 * 0,98 \text{ kN/m}^2 = 1,39 \text{ kN/m}^2$$

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vasten neliökuormana

$$F_{w, \text{päätyseinä}} = C_s C_d * C_f * q_p(z) \quad (12)$$

$$F_{w, \text{päätyseinä}} = 1,0 * 1,1 * 0,98 \text{ kN/m}^2 = 1,09 \text{ kN/m}^2$$

(RIL 201-1-2011, 129)

4.3.2 Tuulikuorma painekerroinmenetelmällä

Painekerroinmenetelmässä tuulikuorman arvo lasketaan vyöhykkeittäin seuraavalla kaavalla:

$$q_{wk} = q_p * (C_{pe} + C_{pi}) \quad (13)$$

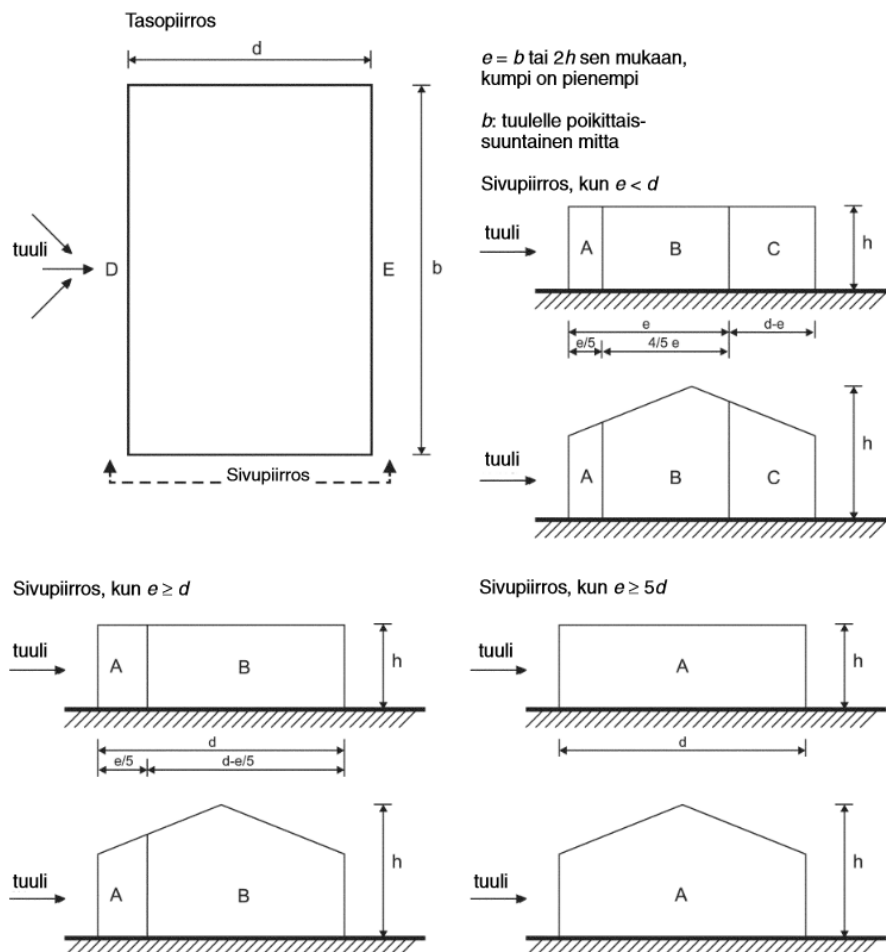
missä

q_p = puuskannopeuspaine

C_{pe} = ulkopuolisen paineen kerroin

C_{pi} = painekerroin sisäiselle paineelle. Rakennuksissa jotka ovat lähes neliömäisiä ja joiden aukkosuhdetta ei pystytä tarkkaan määrittämään, käytetään rakennuksen sisäseinän osapaineen arvo 0,2 tai – 0,3, joista valitaan vaarallisemman tapauksen mukaan.

Rakenteen pystyseinäalueiden vyöhykkeet määräytyvät alapuolisen kuvion 10 mukaan. Vyöhykkeiden ulkopuolisen paineen kertoimet saadaan määritettyä kuvion 11 taulukosta, vyöhykealueen pinta-alan ollessa $< 10 \text{ m}^2$, pinta-alan ollessa $> 10 \text{ m}^2$ käytetään kaavaa $c_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10}$. Mittasuhteen h/d väliarvoja vastaavat arvot saadaan määritettyä lineaarisen interpoloinnin avulla (SFS EN 1991-1-4, 65).



Kuvio 10. Rakennuksen pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio (EN 1991-1-4).

Kaarikaton ja kupolikaton vyöhykealueet määräytyvät kuvan 11 mukaan. Nopeuspainekertoimen arvo saadaan nyt määritettyä z_e avulla seuraavasti:

$$z_e = h + f/2. \quad (14)$$

missä

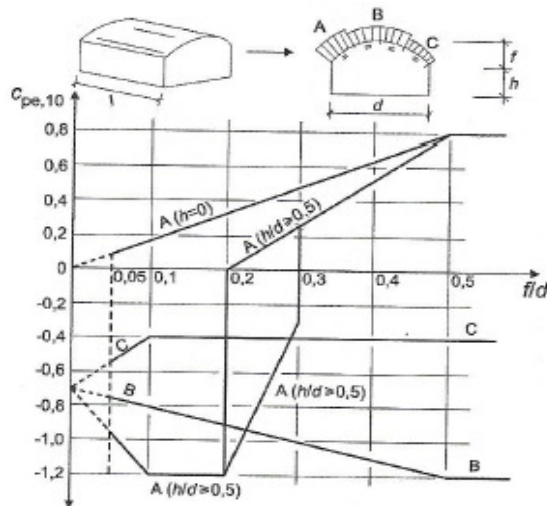
h = seinän korkeus

f = katon kaaren korkeus

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Vyöhykkeellä A:

- Ulkopuolisen paineen kertoimen $c_{pe,10}$ arvo saadaan lineaarisesti interpoliimalla, kun $0 < h/d < 0,5$
- Kun $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ ja $h/d \geq 0,5$, joudutaan tarkastelemaan kahta painekertoimen $c_{pe,10}$ arvoa.
- Diagrammia ei voi soveltaa tasakatoille



Kuvio 11. Ulkopuolisen paineen kertoimen $c_{pe,10}$ suositeltu arvo rakennuksille, jotka ovat pohjaltaan suorakaiteen muotoisia (RIL 201-1-2011, 156).

4.4 Kuormitusyhdistelmät

4.4.1 Rajatilamitoitus

Rajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen kykyä kantaa sille tulevat kuormitus-tapaukset, ilman murtumista tai liian suuria muodonmuutoksia. Rakenteen kestävyys ja sille tulevat kuormat vaihtelevat ajan ja paikan suhteen. Tämän vaihtelun takia ei voida määrittää yhtä absoluuttista arvoa, vaan mitoituksessa kestävyys ja kuormien vaihtelu otetaan huomioon käyttämällä osavarmuuslukuja, jotka perustuvat tilastolliseen todennäköisyyteen. Rajatilamitoituksessa tarkastellaan murtorajatilaa ja käyttörajatilaa, kummatkin rajatilat tulee käsitellä erikseen (Ongelin & Valkonen 2012).

4.4.2 Osavarmuuskertoimet

Rakenteet jaetaan kolmeen seuraamusluokkaan seuraamusriskien perusteella, suuren riskin tapauksissa rakenteelta edellytetään suurempaa luotettavuutta. Tämä huomioidaan osavarmuuskertoimen K_{FI} avulla. Taulukossa 4 kuvataan seuraamusluokat sekä taulukossa 5 annetaan muuttuvien kuormien yhdistelmäkertoimet (RIL 201-1-2011. 2011, 24).

seuraamusluokassa CC3 $K_{FI} = 1,1$

seuraamusluokassa CC2 $K_{FI} = 1,0$

seuraamusluokassa CC1 $K_{FI} = 0,9$

(RIL 201-1-2011.2011, 24)

Taulukko 4. Seuraamusluokat (SFS EN 1990, taulukko B1).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Taulukko 5. Muuttuvan kuorman yhdistelmäkertoimet (RIL 201-1-2011, 36).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{ kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)* ¹⁾ kun $s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ** ²⁾	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
¹⁾ Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ²⁾ Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.			

4.4.3 Käyttörajatila

Käyttörajatilalla tarkoitetaan tilaa, jonka jälkeen asetetut käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty. Käyttörajatilatarkastelussa käsitellään rakenteen siirtymä, värähtely ja mahdolliset ulkonäköön syntyvät vauriot. Käyttörajatilän kuormayhdistelmät ja jakautuvat kolmeen tapaukseen tarkasteltavan muodonmuutoksen haitan mukaan seuraavasti (RIL 201-1-2011. 2011, 28).

Ominaisyhdistelmä:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (15)$$

(käytetään kun muodonmuutos aiheuttaa haittaa ulkonäöllisesti)

Tavallinen yhdistelmä:

$$G_{kj} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (16)$$

(käytetään kun muodonmuutos aiheuttaa haittaa rakenteen käytölle)

Pitkäaikaisyhdistelmä:

$$G_{kj} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (17)$$

(käytetään palautumattomille rajatiloille, kuten halkeilu)

missä

G_{kj} = pysyvä kuorma

$Q_{k,1}$ = Määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ = muu muuttuva kuorma

$\psi_{1,1}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (ks. taulukko 4)

$\psi_{2,i}$ = muuttuvien kuormien yhdistelykerroin (ks. taulukko 4)

(RIL 201-1-2011. 2011, 37–42).

4.4.4 Murtorajatila

Murtorajatilalla tarkoitetaan tilaa, jossa rakenne sortuu tai vaurioituu. Tarkasteltavia tapauksia ovat tasapanon menetys, siirtymä, katkeaminen, stabiiliuden menetys, rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi ja ajasta riippuva vaurioituminen (RIL 201-1-2011. 2011, 27).

Murtorajatilan mitoituskuormat rakenteen kestävyydelle saadaan seuraavista yhtälöistä:

$$1,15 K_{FI} G_{kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (18)$$

vähintään kuitenkin:

$$1,35 K_{FI} G_{kj} \quad (19)$$

missä

G_{kj} = pysyvä kuorma

$Q_{k,1}$ = määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ = muun muuttuva kuorma

$\psi_{0,i}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (ks. taulukko 4)

(RIL 201-1-2011. 2011, 37–39).

Saadusta yhtälöistä käytetään sitä, joka antaa määräävän vaikutuksen. Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, muuttuu pysyvien kuormien kerroin 1,15 vaihdetaan lukuun 0,9, eikä K_{FI} -kerrointa käytetä (RIL 201-1-2011. 2011, 38).

Murtorajatilan mitoituskuormat rakenteen staattiselle tasapainolle saadaan seuraavista yhtälöistä:

$$1,1 K_{FI} + 0,9 G_{kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (20)$$

missä

G_{kj} = pysyvä kuorma jaettuna epäedulliseen ja edullisen osaan

$Q_{k,1}$ = määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ = muun muuttuva kuorma

$\psi_{0,i}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (ks. taulukko 4)

(RIL 201-1-2011. 2011, 38).

5 RAKENTEEN KANTAVUUDEN TARKASTELU

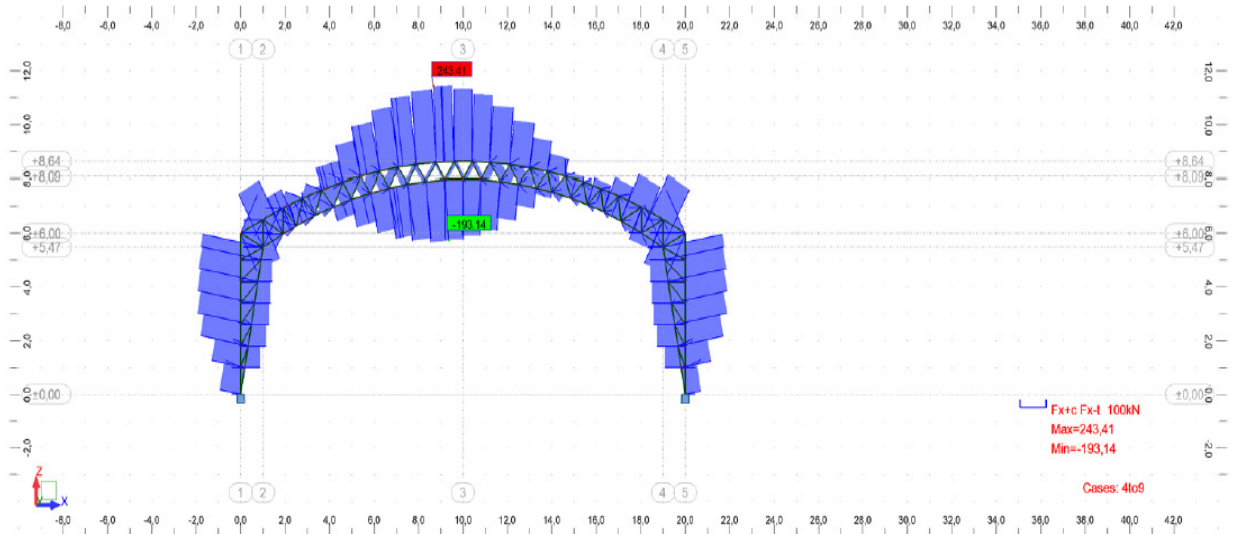
5.1 Autodesk Robotista saatujen tulosten analysointi

Teräsrakenteen kestävyyttä tarkasteltiin Autodesk Robot Analysis -ohjelman avulla. Ohjelmaan luotiin 2D-malli hallin kantavista rakenteista ja määritettiin lumen, tuulen ja omapainon aiheuttamat kuormat. Kuormitustapaukset määritettiin ohjelman automattisen laskennan avulla. Seuraamusluokaksi laskennassa osoitettiin CC1, jonka avulla ohjelma pystyy määrittämään oikeat kertoimet kuormituksille. Tämän jälkeen tarkasteltiin teräsrakenteiden käyttäytymistä vaarallisimman tapauksen mukaan.

Autodesk Robot Analysis -ohjelmalla tarkasteltiin kantavan rakenteen sauvojen leikkaus-, taivutus-, nurjahduskestävyyttä sekä siirtymää. Laskennasta saadun tuloksen mukaan hallin kantavat rakenteet täyttävät kaikki sille esitetyt vaatimukset. Raportti laskennan tuloksista löytyy liitteenä. Laskentaan aiheutti pientä epätarkkuutta sauvojen mittojen mahdollinen poikkeama, mitat ovat ideaalimittoja rakennepiirustusten perusteella.

Alapuolella olevan ohjelmasta saadun normaalivoimakuvion avulla nähdään, miten kuormat vaikuttavat rakenteeseen. Diagonaalisauvoille ei tule lähes ollenkaan rasitusta ja suurin rasitusvoima kohdistuu kaaren keskikohdalle ylä- ja alapääteelle. Laskentaa tehdessä tuulikuorma on määritetty vaikuttamaan kuvion 12 vasempaan sivuun, jonka johdosta rasitus vaikuttaa hiukan enemmän vasemmalle puolelle. Suurin vaikuttava sauvavoima on 243,41 kN.

Diagrams - FX; Cases: 4to9



Kuvio 12. Normaalivoimakuvio.

5.2 Sauvojen kestävyys

Autodesk Rodot Analysis -ohjelmalla on saatu tulokseksi rakenteen sauvojen kestävän, tässä kappaleessa tarkastellaan vielä tulosta tarkemmin käsin laskennan avulla. Ristikon ylä- ja alapaateensavojen kestävyys tarkastellaan Cremonan menetelyn avulla Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus -kirjan sähköisen liitteen L10.1 mukaan. Menetelmässä ristikko mitoitetaan nivelristikkona, jossa solmukoh-tien oletetaan olevan nivelellisiä (Ongelin & Valkonen 2012, liite L 10.1).

Palkin lähtötiedot:

Sauva: U100*60*4

Teräslaji: S275

Poikkileikkausluokka: 1

Ristikon suurin vaikuttava voimasuure: 73,0 kN

Yläpaarteen suurin puristusvoima: -243,41 kN

Alapaarteen suurin vetovoima: 193,14 kN

5.2.1 Yläpaarteen tarkastelu

Yläpaarteen suurin puristusvoima: $-243,41 \text{ kN} = N_{ed}$

Med: $-4,90 \text{ kNm}$

U-profiilin U100*50*4 arvot:

A: $13,38 \text{ cm}^2$

Wpl: $49,59 \text{ cm}^3$

I_y: $209,5 \text{ cm}^4$

F_y: 275 N/mm^2

Nurjahduskestävyys:

Mitoitusehto nurjahduskestävyydelle:

$$N_{ed} \leq N_{d,Rd}$$

Nurjahduspituus:

L: $1\,000 \text{ mm}$

L_{cry}: $0,9 \times L = 900 \text{ mm}$ L_{crz}: $0,9 \times L = 900 \text{ mm}$

γ_{M1}: 1

Nurjahduskuorma N_{cry}:

$$N_{cry} = \pi^2 \cdot E \cdot (I_y / L_{cry}^2) = 5,358 \times 10^3 \text{ kN}$$

(21)

Muunnettu hoikkuus λ_y:

$$\lambda_y = \sqrt{A \cdot (f_y / N_{cry})} = 0,26$$

(22)

Valitaan nurjahduskäyrä C

$$C = \alpha = 0,49$$

Apusuure ρ:

$$\rho = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2) = 0,550$$

(23)

Pienennystekijä χ_y :

$$\chi_y = \frac{1}{(\beta + \sqrt{\beta^2 - \lambda_y^2})} = 0,967 \quad (24)$$

$$N_{b,Rd} = \chi_y \times A \times \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 355,7 \text{ kN} \quad (25)$$

$$N_{d,Rd} = 355,7 \text{ kN} \geq N_{ed} = 243,41 \text{ kN} \quad \text{OK!} \quad (68 \% \text{ käyttöaste})$$

Taivutuskestävyys:

$$M_{y,Ed} = 4,9 \text{ kNm}$$

Taivutuskestävyyden mitoitusehto:

$$M_{ed} \leq M_{c,Rd}$$

Missä

M_{ed} = taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ = taivutuskestävyyden mitoitusarvo

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo saadaan laskettua seuraavasti poikkileikkausluokan ollessa 1 tai 2:

$$M_{cyRd} = W_{ply} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 13,6 \text{ kNm} \quad (26)$$

$$13,6 \text{ kNm} > 4,9 \text{ kNm} \quad \text{OK!} \quad (36 \% \text{ käyttöaste})$$

Puristuskestävyys:

U-profiili 100*50*4 poikkileikkausarvot:

$$A: 13,38 \text{ cm}^2$$

$$F_y: 275 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{ed}: 243,41 \text{ kN}$$

Puristuskestävyyden mitoitusehto:

$$N_{ed} < N_{c,Rd}$$

Missä

N_{ed} = puristusvoiman mitoitusarvo

$N_{c,Rd}$ = poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo

Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo poikkileikkausluokalle 1,2 ja 3 lasketaan seuraavasti keskeiselle ja tasaiselle puristukselle:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times F_y}{\gamma_{M0}} = 367,95 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 367,95 \text{ kN} \geq N_{ed} = 243,41 \text{ kN} \quad \text{Ok!} \quad (66 \% \text{ käyttöaste})$$

Yhdistetty taivutus- ja puristuskestävyys:

M_s : 0,46 kNm

M_h : 4,9 kNm

$$\alpha_s = \frac{-M_s}{M_h} = -0,09 \quad (27)$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \times \alpha_s = 0,172 > 4 \quad \text{--} > \text{valitaan } 0,4 \quad C_{mLT} = C_{my}$$

$$\lambda_y = 0,26 \quad N_{ed} = 243,41 \text{ kN} \quad \chi_y = 0,967 \quad N_{Rk} = N_{c,Rd} = 367,95 \text{ kN}$$

$$K_{yy} < K_{yy1}: C_{my} \times (1 + (\lambda_y - 0,2) \times (\frac{N_{ed}}{\chi_y \times N_{Rk}})) = 0,416 \quad (28)$$

$$K_{yy} < k_{yy2}: C_{my} \times \left(1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,619 \quad (29)$$

$$K_{yy}: \min (k_{yy1}; k_{yy2}) = 0,416$$

$$\begin{array}{lll} N_{Ed}: 243,41 \text{ kN} & M_{yEd}: 4,9 \text{ kNm} & N_{Rk}: 367,95 \text{ kN} \\ M_{yRk}: 13,6 \text{ kNm} & \chi_{LT}: 1 & \end{array}$$

Nurjahduksen ja taivutuksen ollessa y-akselin suhteen, saadaan yhdistetty taivutus- ja puristuskestävyys laskettu seuraavasti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{M_{yEd}}{\chi_{LT} \times \frac{M_{yRk}}{\gamma_{M1}}} = 0,83 > 1 \quad \text{Ok !} \quad (30)$$

5.2.2 Alapaarteen tarkastelu

Alapaarteen suurin vetovoima: 193,14 kN = N_{Ed}

U-profiili 100*50*4 poikkileikkausarvot:

$$A: 13,38 \text{ cm}^2 \qquad W_{pl}: 49,59 \text{ cm}^3 \qquad F_y: 275 \text{ N/mm}^2$$

Vetokestävyys:

Vetokestävyysmitoitusehto:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = N_{c,Rd}$$

Missä

N_{Ed} = vetovoiman mitoitusarvo

$N_{t,Rd}$ = poikkileikkauksen vetokestävyysmitoitusarvo

Vetokestävyyden bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen mitoitusarvo:

$$N_{t,Rd}: A \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 367,95 \text{ kN} \quad (31)$$

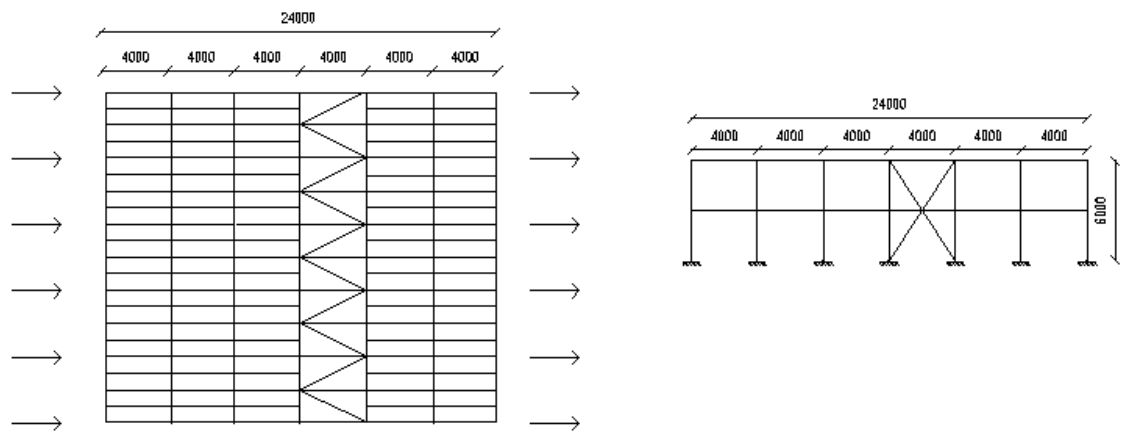
$$N_{t,Rd} = 367,95 \text{ kN} > N_{ed} = 193,4 \text{ kN} \text{ Ok!} \quad (53 \% \text{ käyttöaste})$$

(Teräsrakenneyhdistys ry 2010, liite L 10.1)

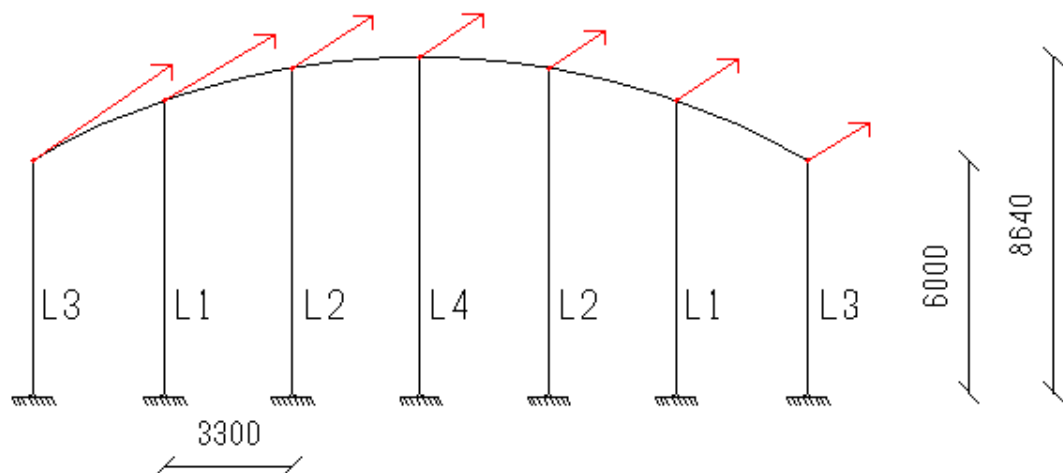
6 JÄYKISTYS

6.1 Jäykistyskuormat

Seinän ja katon jäykisteet toteutetaan ristikkojäykisteinä. Ristikkojäykistys oli aikaisemmin toteutettu vaijereilla, jotka vaihdetaan terässauvoihin. Päätyseinien jäykistys toteutetaan vanhojen suunnitelmien mukaan. Jäykistykseen mitoitusta käsitellään teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus -kirjan sähköisen liitteen L 10.1 mukaan. Hallin jäykistys kuvataan kuviossa 13 ja päädyn tuulikuormat kuviossa 14.



Kuvio 13. Hallin jäykistys.



Kuvio 14. Päädyn tuulikuorma.

Tarkastetaan päädyn pilareiden kestävyys:

Valitaan RSH 180 x 180 x 10, S 355

(Tarkastelu suoritetaan kriittisimmälle sauvalle L4.)

Sauvaan vaikuttava kuormitus: $M_{ed} = 134,3 \text{ kNm}$

Taivutuskestävyys: $M_{c,Rd} = 143,3 \text{ kNm} > 134,3 \text{ kN}$ Ok!

Leikkauskestävyys: $V_{c,Rd} = 661,7 \text{ kN} > 134,3 \text{ kN}$ Ok!

Taivutus- ja leikkauskestävyyden yhteisvaikutus:

$$V_{ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd} = 134,3 < 330,9 \quad \text{Ok!} \quad (32)$$

V_{ed} ollessa pienempi kuin puolet plastisuusteorian mukaisesta leikkauskestävyydestä ($V_{pl,Rd}$) ei sen vaikutusta taivutuskestävyyteen tarvitse huomioida (2012 Perälä).

Kuormitukset:

$$q_{pze} = 1,09 \text{ kN/m}^2 \quad q_{wd} = 1,5 \times q_{pze} = 1,635 \text{ kN/m}^2 \quad (33)$$

Tuulipilareiden tukireaktiot:

$$k = 3,3 \text{ m} \quad L_1 = 7,4 \text{ m} \quad L_2 = 8,3 \text{ m} \quad L_3 = 6,0 \text{ m} \quad L_4 = 8,64 \text{ m}$$

$$F_{wd1} = 3/8 \times q_{wd} \times k \times L_1 \quad F_{wd1} = 15,0 \text{ kN} \quad (34)$$

$$F_{wd2} = 3/8 \times q_{wd} \times k \times L_2 \quad F_{wd2} = 16,8 \text{ kN} \quad (35)$$

$$F_{wd3} = 3/8 \times q_{wd} \times k \times L_3 \quad F_{wd3} = 12,1 \text{ kN} \quad (36)$$

$$F_{wd4} = 3/8 \times q_{wd} \times k \times L_4 \quad F_{wd4} = 17,5 \text{ kN} \quad (37)$$

(Kitkan vaikutusta ei ole huomioitu)

Jäykistejärjestelmän epätarkkuudet:

$$m = 6 \text{ (keskipilarit)}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times (1 + (1/m))} = 0,756 \quad (38)$$

$$\begin{aligned}
L &= 20\,000 \text{ mm (jäykistejärjestelmän jänneväli)} \\
e_o &= \alpha_m \cdot (L/500) = 30 \text{ mm} \\
h &= 6\,000 \text{ mm (sivuseinän korkeus)} \\
M_{\max} &= (P_d \cdot l^2) / 8 = (14,2 \text{ kN/m} \cdot (20\text{m})^2) / 8 = 710 \text{ kNm} \\
M_{\text{ed}} &= 473 \text{ kNm} \quad (710 \text{ kNm} \cdot (2/3)) \\
N_{\text{ed}} &= M_{\text{ed}} / h = 473 \text{ kNm} / 1,5 \text{ m} = 316 \text{ kN} \\
n &= 6 \text{ (pääkannattajien lukumäärä)} \\
S_q &= 6 \text{ mm} \quad (\text{jäykistejärjestelmän taipuma}) \\
q_d &= n \cdot N_{\text{ed}} \cdot 8 \cdot ((e_o + S_q) / L_2) = 1,365 \text{ N} / \text{mm}^2
\end{aligned}$$

Yläpohjan jäykisteristikon mitoitus:

Välisauva L1:

$$\begin{aligned}
N_1 &= F_{\text{wd}1} + (q_d \cdot l / 4) = 15 \cdot 10^3 \text{ N} + (1,365 \text{ N/mm}^2 \cdot 20\,000 \text{ mm}) / 4 \\
N_1 &= 21\,825 \text{ N} \rightarrow 21,83 \text{ kN}
\end{aligned} \tag{39}$$

Välisauva L2:

$$\begin{aligned}
N_2 &= F_{\text{wd}2} + (q_d \cdot l / 4) = 16,8 \cdot 10^3 \text{ N} + (1,365 \text{ N/mm}^2 \cdot 20\,000 \text{ mm}) / 4 \\
N_2 &= 23\,625 \text{ N} \rightarrow 23,63 \text{ kN}
\end{aligned} \tag{40}$$

Nurkkasauva L3:

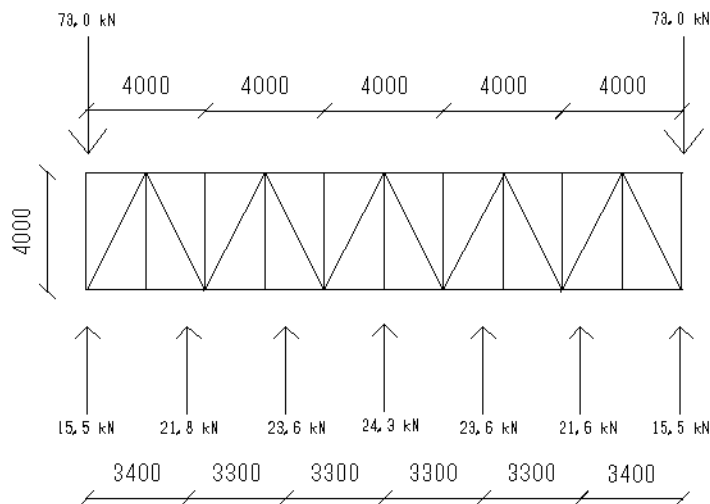
$$\begin{aligned}
N_3 &= F_{\text{wd}3} + (q_d \cdot l / 8) = 12,1 \cdot 10^3 \text{ N} + (1,365 \text{ N/mm}^2 \cdot 20\,000 \text{ mm}) / 8 \\
N_3 &= 15\,512 \text{ N} \rightarrow 15,51 \text{ kN}
\end{aligned} \tag{41}$$

Keskisauva L4: (42)

$$\begin{aligned}
N_4 &= F_{\text{wd}4} + (q_d \cdot l / 4) = 17,5 \cdot 10^3 \text{ N} + (1,365 \text{ N/mm}^2 \cdot 20\,000 \text{ mm}) / 4 \\
N_4 &= 24\,325 \text{ N} \rightarrow 24,33 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$N_{\text{cd}} = N_1 + N_2 + (N_4 / 2) + N_3 = 73,0 \text{ kN (suurin sauvavoima)} \tag{43}$$

Jäykisteristikon puristussauvan mitoitus:



Kuvio 15. Puristussauvan mitoitusarvot.

Valittu putkiprofiili 70*70*5 arvot:

Pituus	= 4 m
I_y	= 84,63 cm ⁴
A	= 12,36 cm ²
W_{pl}	= 29,56 cm ³
F_y	= 355 N/mm ²

Ruukin rakenneputket liite 11.1

Nurjahduspituuden oletetaan olevan 0,9 x solmuväli 4 m

$$L = 4\,000\text{ mm} \quad L_{cry} = 0,9 \times L = 3\,600\text{ mm} \quad L_{crz} = 0,9 \times L = 3\,600\text{ mm} \quad (44)$$

Nurjahduskuorma N_{cry} :

$$N_{cry} = \pi^2 \cdot E \cdot (I_y / L_{cry}^2) = 135,3\text{ kN} \quad (45)$$

Muunnettu hoikkuus λ_y :

$$\lambda_y = \sqrt{A \cdot (f_y / N_{cry})} = 1,8 \quad (46)$$

Valitaan nurjahduskäyrä C

$$C = \alpha = 0,49$$

Apusuure Φ :

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda y - 0,2) + \lambda y^2) = 2,51 \quad (47)$$

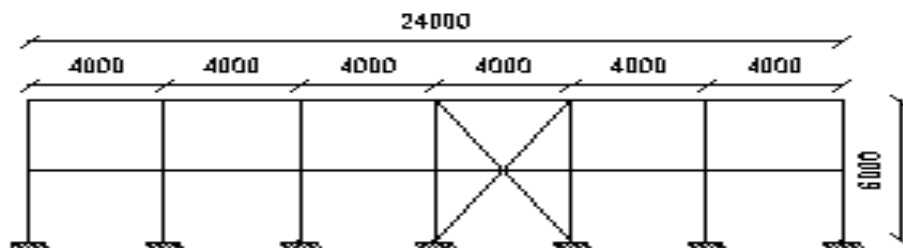
Pienennystekijä X_y :

$$X_y = \frac{1}{(\beta + \sqrt{\beta^2 - \lambda y^2})} = 0,1785 \quad (48)$$

$$N_{by,Rd} = X_y \times A \times \frac{f_y}{\gamma_M} = 79,3 \text{ kN} \quad (49)$$

$$N_{by,Rd} = 79,3 \text{ kN} \geq N_{cd} = 73,0 \text{ kN} \quad \text{OK!} \quad (92 \% \text{ käyttöaste})$$

Seinän pituussuuntaiset jäykisteet:



Kuvio 16. Seinän pituussuuntainen jäykistys.

Valittu putkiprofiili 120*120*5 arvot:

$$\begin{aligned} \text{Pituus} &= 7,2 \text{ m} \\ I_y &= 485,5 \text{ cm}^4 \\ A &= 22,36 \text{ cm}^2 \\ W_{pl} &= 95,45 \text{ cm}^3 \\ F_y &= 355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(Ongelin & Valkonen 2012, 537.)

Räystään korkeudelle tuleva voima = 73,0 kN

Seinän jäykistesauvassa vaikuttava voima on:

$$73,0 \text{ kN} / \sin 41,6 = 106 \text{ kN} \quad (50)$$

Valitaan profiili 120*120*5:

$$L_{cry} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 7,2 = 7,2 \text{ m} \quad (51)$$

$$N_{cry} = \pi^2 \cdot E \cdot (I_y / L_{cry}^2) = 194,1 \text{ kN} \quad (52)$$

$$\lambda_y = 2,02$$

$$\text{Nurjhduskäyrä C} \rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\Phi = 2,33$$

$$X_y = 0,29$$

$$N_{dy,Rd} = X_y \times A \times \frac{F_y}{\gamma_{M1}} = 228 \text{ kN} \quad (53)$$

$$228 \text{ kN} \geq 106 \text{ kN} \quad \text{OK!} \quad (47 \% \text{ käyttöaste})$$

Missä

I_y = neliömomentti

A = poikkileikkauksen pinta-ala

W_{pl} = plastinen taivutusvastus

f_y = teräksen lujuusluokka

L_{cry} = sauvan nurjahdus pituus

N_{cry} = nurjahduskuorma

λ_y = muunnettu hoikkuu

Φ = apusuure

X_y = pienennystekijä

$N_{dy,Rd}$ = nurjahduskestävyys

γ_{M1} = 1

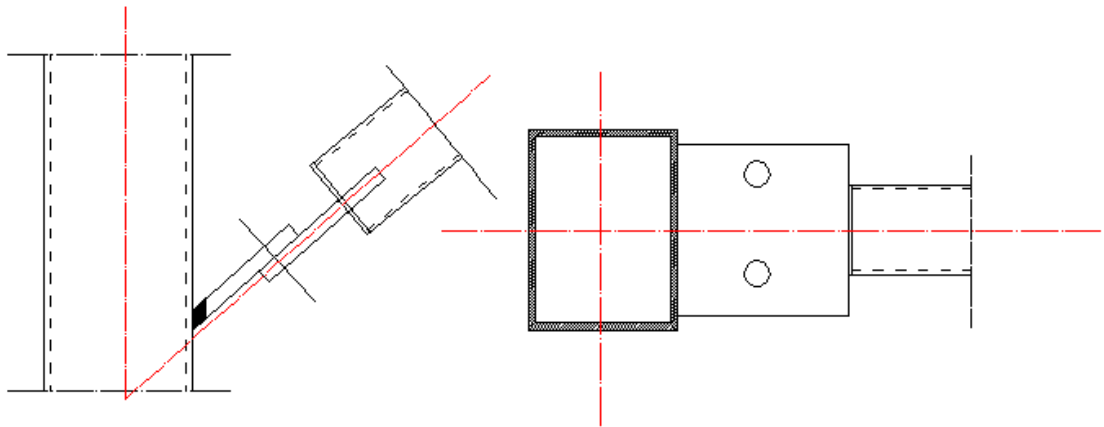
(Teräsrakenneyhdistys ry 2010, liite L 10.1)

6.2 Seinän vinojäykisteiden kiinnitys

Seinän vinositeen kiinnitystä pilariin levyliitoksella tarkastellaan Ruukin rakenneputket kirjan luvun 7 mukaan. Toteutettava liitos on yksileikkeinen, jossa liitoslevyjen paksuudet ovat 20 mm ja leveydet 230 mm. Ruuvit ovat M30, 8.8 (2 kpl), oletetaan että ruuvien kierteet eivät sijaitse leikkautumistasossa. Pilarin murtuminen ei muodostu kriittiseksi, joten sitä ei tarkastella. Havainnekuva liitoksesta on esitettyä kuviossa 17. (Ongelin & Valkonen 2012, 457.)

Vetovoima:

$$N_{Ed} = 316 / \cos 50 = 327,5 \text{ kN} \quad (54)$$



Kuvio 17. Vinositeen liitos pilariin.

Tarkistetaan ruuviryhmän geometria:

$$d_o = 30 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 33 \text{ mm} \text{ (M30 ruuvien vaatima reiän halkaisija)} \quad (55)$$

$$e_1 = 60 \text{ mm} \geq 1,2 \times d_o = 39,6 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (56)$$

$$e_2 = 65 \text{ mm} \geq 1,2 \times d_o = 39,6 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (57)$$

$$P_2 = 230 - 2 \times 65 \text{ mm} = 100 \text{ mm} \geq 2,4 \times d_o = 79,2 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (58)$$

Missä

e_1 = ruuvien päätyetäisyys

e_2 = ruuvien reunaetäisyys

P_2 = ruuvien keskivälin pituus voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa

Ruuvien leikkauskestävyys

Reunapuristuskestävyyden mitoitusehto:

$$F_{v,Rd} \leq F_{b,Rd}$$

Missä

$F_{v,Rd}$ = leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{b,Rd}$ = reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo

Leikkausvoiman mitoitusarvo:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ud} \times A}{\sqrt{M_2}} = \frac{0,6 \times 800 \text{ N/mm}^2 \times 707 \text{ mm}^2}{1,25} = 271,5 \text{ kN} \quad (59)$$

$$\rightarrow 2 \text{ kpl ruuveja} = 271,5 \times 2 = 542,0 \text{ kN} > 327,5 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Missä

f_{ud} = ruuvien 8,8 murtolujuus

$\sqrt{M_2}$ = 1,25

A_s = poikkileikkausala ruuvien kierteiden kohdalta

Yhden ruuvien vetokestävyys:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ud} \times A}{\sqrt{M_2}} = \frac{0,9 \times 800 \text{ N/mm}^2 \times 707 \text{ mm}^2}{1,25} = 407,2 \text{ kN} \quad (60)$$

$$\rightarrow 407,2 \text{ kN} > 327,5 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Reunapuristuskestävyys:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times a_b \times f_u \times d \times t}{\sqrt{M_2}} \quad (61)$$

$$k_1 = \min \left(2,5; 2,8 \times \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \times \frac{P_2}{d_o} - 1,7 \right) = \min 2,5 \quad (62)$$

$$a_b = \min \left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3 \times d_o}; \frac{P_1}{d_o} - 1,4 \right) = \min 0,83 \quad (63)$$

$$F_{d,Rd} = \frac{2,5 \times 0,83 \times 430 \text{ N/mm}^2 \times 18 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}}{1,25} = 257,0 \text{ kN} \quad (64)$$

$$\rightarrow 257,0 \text{ kN} > \frac{327,5}{2} = 163,75 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Missä

d = ruuvien halkaisija

t = levyn paksuus

Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyys:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\sqrt{M_2}} \quad (65)$$

$$A_{net} = 230 \text{ mm} - 2 \times 33 \text{ mm} \times 20 = 3\,280 \text{ mm}^2 \quad (66)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 3\,280 \text{ mm}^2 \times 490 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1\,157 \text{ kN} > 327,5 \text{ kN} \quad \text{Ok!} \quad (67)$$

Missä

f_u = teräslajin vetomurtolujuuden arvo (N/mm²)

Liitoslevyn bruttopoikkileikkauksen vetokestävyys:

$$A = 230 \times 20 = 4\,600 \text{ mm}^2 \quad (68)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\sqrt{M_0}} = 1633 \text{ kN} > 327,5 \text{ kN} \quad \text{Ok!} \quad (69)$$

Putken vetokestävyys:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_u}{\gamma_{Mo}} = 793,8 \text{ kN} > 327,5 \text{ kN} \quad \text{Ok!} \quad (70)$$

Missä

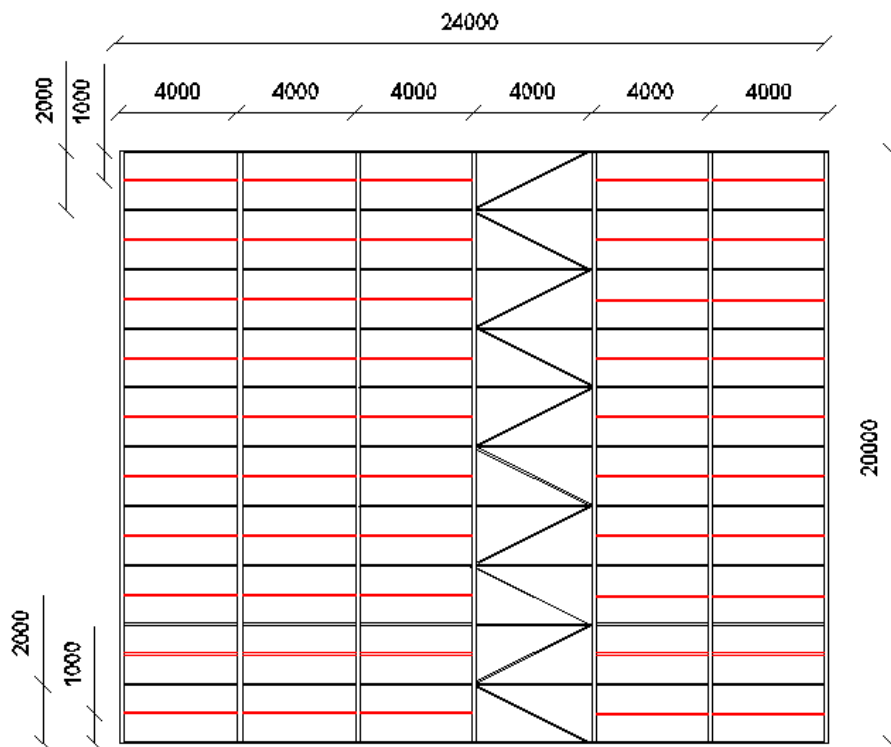
$$A = 2\,236 \text{ mm}^2 \text{ (vinositeen poikkileikkauksen pinta-ala)}$$

(Ongelin & Valkonen 2012, 457–458.)

7 LISÄTUENTA

7.1 Katto-orsien välin tihentäminen

Lisätukiratkaisuiksi kattoon lisätään kannakkeita estämään pressun pääseminen pussittamaan. Pressun pääseminen löystymään kattokannattimien väliin aiheutti lumen kasaantumisen ja näin huomattavasti suuremman kuormituksen rakenteille kuin laskennallisesti voidaan olettaa. Ratkaisuna tähän ehdotetaan katto-orsien välin tihentämistä. Jatkossa lunta tulee poistaa hallin katolta suurilumisina talvina. Alapuoleisessa havainnekuviossa 18 punaiset katto-orret on esitetty lisättäväksi vanhaan rakenteeseen.

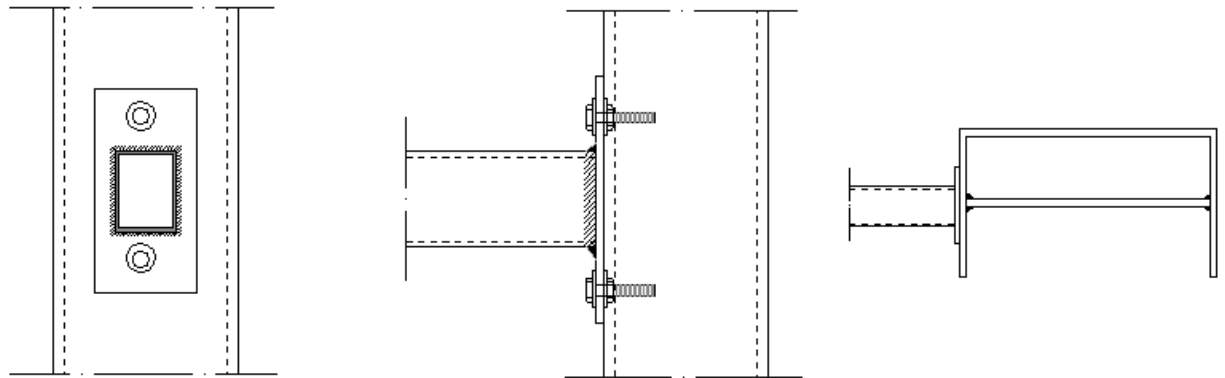


Kuvio 18. Katto-orsien tiivistäminen.

7.2 Katto-orren ja ristikon välisen liitoksen tarkastelu

Tarkastellaan alapuoleisen kuvan mukaista katto-orren ja ristikon yläparteen välistä päätylevylistä liitosta. Liitoksessa palkin päähän on hitsattu 150 x 100, $t = 10$ mm

päätylevy joka on puolestaan kiinnitetty ruuveilla ristikon yläpaarteeseen. Yläpaarteeseen (u-profiili) taakse hitsataan 10 mm paksuinen levy vahvistamaan rakennetta. Ruuviliitokseen vaikuttava taivutus on 6,71 kN. Teräslaji on S355. Ruuvit ovat M16, 8.8 ja kierteet ovat leikkaustasossa.



Kuvio 19. Katto-orren ja ristikon välinen liitos.

Ruuviliitoksen kestävyys

Tarkistetaan vaatimus reikien sijainnille:

$$d_o = 16 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 18 \text{ mm} \quad (\text{M16 ruuvin vaatima reiän halkaisija}) \quad (71)$$

$$e_1 = 50 \text{ mm} \geq 1,2 \times d_o = 21,6 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (72)$$

$$e_2 = 25 \text{ mm} \geq 1,2 \times d_o = 21,6 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (73)$$

$$P_2 = 100 \text{ mm} \geq 2,4 \times d_o = 43,3 \text{ mm} \quad \text{Ok!} \quad (74)$$

Ruuvin leikkauskestävyys:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ud} \times A_s}{\sqrt{M_2}} = \frac{0,6 \times 800 \text{ N/mm}^2 \times 245 \text{ mm}^2}{1,25} = 94,08 \text{ kN} \quad (75)$$

$$\rightarrow 2 \text{ kpl ruuveja} = 94,08 \times 2 = 188,2 \text{ kN} < 6,71 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Missä

f_{ud} = ruuvin murtolujuus

γ_{M2} = 1,25

A_s = poikkileikkausala ruuvien kierteiden kohdalta

Yhden ruuvin vetokestävyys:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ud} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 800 \text{ N/mm}^2 \times 245 \text{ mm}^2}{1,25} = 141,12 \text{ kN} \quad (76)$$

→ 141,12 kN > 6,71 kN Ok!

Reunapuristuskestävyys:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times a_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \quad (77)$$

$$k_1 = \min \left(2,5; \frac{2,8 \times e_2}{d_o} - 1,7; \frac{1,4 \times P_2}{d_o} - 1,7 \right) = \min 2,5 \quad (78)$$

$$a_b = \min \left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3 \times d_o}; \frac{P_1}{d_o} - 1,4 \right) = \min 0,555 \quad (79)$$

$$F_{d,Rd} = \frac{2,5 \times 0,555 \times 430 \text{ N/mm}^2 \times 18 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}}{1,25} = 85,14 \text{ kN} \quad (80)$$

$$F = 2 \times 85,14 \text{ kN} = 170,28 \text{ kN} > 6,71 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Missä

d = ruuvien halkaisija

t = päätylevyn paksuus

Nettopoikkileikkauksen vetokestävyys:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad (81)$$

$$A_{net} = (50 \text{ mm} - d_o) \times t = (50 \text{ mm} - 18 \text{ mm}) \times 10 \text{ mm} = 320 \text{ mm}^2 \quad (82)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 320 \text{ mm}^2 \times 430 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 99,1 \text{ kN} > 6,71 \text{ kN} \quad \text{Ok!} \quad (83)$$

Missä

f_u = teräslajin vetomurtolujuuden arvo (N/mm^2)

A_{net} = nettopoikkileikkauksen pinta-ala (mm^2)

Hitsin kestävyys:

Tarkastellaan katto-orren ja päätylevyn välisen kaksoispienahitsin vaatimaa a-mitaa yksinkertaistetulla menetelmällä.

Mitoitus ehto: $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$

$$F_{w,Rd} = f_{w,d} \times a$$

$$f_{w,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{510 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \times 0,9 \times 1,25} = 261,7 \text{ N/mm}^2 \quad (84)$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{h_w} = \frac{V_{ed}}{h_w} = \frac{6\,710 \text{ kN}}{0,07 \text{ m}} = 95,86 \text{ kN/m} \quad (85)$$

$$a \geq \frac{95,86 \text{ N/mm}}{261,70 \text{ N/mm}} = 0,366 \quad \rightarrow \quad a = 3 \text{ mm} \quad (82)$$

Missä

a = hitsin paksuus

f_u = vetomurtolujuuden arvo, joka määräytyy teräslajin mukaan

β_w = korrelaatiokerroin, joka määräytyy teräslajin mukaan

γ_{M2} = 1,25

h_w = palkin korkeus

Putken poikkileikkauksen taivutuskestävyys:

Lisättävät katto-orret

Taivutuskestävyys:

70 x 70 x 3: $M_{pl,Rd} = 6,89 \text{ kNm} > 6,71 \text{ kNm (Med)}$ Ok!
(Ongelin & Valkonen. 2012. 536.)

Leikkauskestävyys:

70 x 70 x 3: $V_{e,Rd} = 80,02 \text{ kN} > 6,71 \text{ kN (Ved)}$ Ok!
(Ongelin & Valkonen. 2012. 536.)

Taivutus ja leikkausvoiman yhteisvaikutus:

Ehto: $V_{Ed} < 0,5 \times V_{e,Rd}$ (86)

--> ehto toteutuu, leikkausvoima ei pienennä profiilin taivutuskestävyyttä (Perälä 2012).

Vanhat katto-orret

Taivutuskestävyys:

50 x 50 x 2: $M_{pl,Rd} = 2,37 \text{ kNm} > 6,71 \text{ kNm (Med)}$ Ei kestä!
(Ongelin & Valkonen. 2012. 536.)

Leikkauskestävyys:

50 x 50 x 2: $V_{e,Rd} = 38,30 \text{ kN} > 6,71 \text{ kN (Ved)}$ Ok!
(Ongelin & Valkonen. 2012. 536.)

Kaikki katto-orret tulee toteuttaa uusina profiililtaan 70 x 70 x 3.

(Perälä 2012.)

Perustuksille tulevat voimat:

$F_x: 34,89 \text{ kN}$

$F_z: 84,28 \text{ kN}$

$M_y: 15,58 \text{ kN}$

Terästankojen pitokyky:

76,80 kN (terästangon pituus 1 000 mm ja halkaisija 16 mm)

Terästangon leikkausvoiman kestävyys:

217,14 kN (terästankoja 4 kpl tankojen halkaisija 14 mm)

Paine maahan:

0,776 N/mm² (paine pohjalevyllä) – tankojen pitokyky 76,80 kN = 117,2 kN (87)
ankkureita ollessa 6 kpl paine on 0,469 N/mm²

Esitetyn laskuesimerkin mukaan hallin perustukset voidaan toteuttaa ankkuroimalla maahan 6 kpl harjateräksiä halkaisijaltaan 16 mm ja pituudeltaan 1000 mm.

(Pressuhallit 2012.)

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli saada uusi rakennuslupa teräsrakenteiselle hallille. Työssä tutkittiin teräsrakenteen kestävyyttä, josta saadaan laskelmat teräshallin uudelleen pystyttämiseen. Myöhemmin työn laskelmat viedään rakennusvalvontaviranomaisille.

Vetokokeessa teräksen lujuusarvoksi saatiin S275. Yleensä teräsrakenteissa käytetään lujuusarvoa S355. Näin ollen teräksen arvo osoittautui hiukan oletettua heikommaksi. Hallin kantavat rakenteet, pilarit ja kattoristikot osoittautuivat riittävän kestäviksi. Hallin katto-orret joudutaan vaihtamaan vahvempirakenteisiksi. Tämä oli nähtävissä jo hallista saaduista vauriokuvista. Hallin jäykistys toteutetaan kokonaan uusiksi. Perustustavaksi valittiin ankkurointi, jolloin säästytään maan kaivuutöiltä ja asfaltin rikkoutumiselta. Työssä ei käsitellä palomitoitusta, joka olisi ollut hyvä käydä myös läpi.

LÄHTEET

- Intolog.2015. Espoon palvelupiste. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.1.2015]. Saatavissa: <http://www.intolog.fi/fi/yhteystiedot/intolog+espoo+logisto+oy/>
- Kumar,R. Martikainen,L. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- Ongelin, P. Valkonen, I. 2012. Rakenneputket. Helsinki: Otavan Oy.
- Perälä, M. 2012. Teräsrakenteet 1, Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, talonrakennustekniikka. Opetusmateriaali. Julkaisematon.
- Pressuhallit. 2012. Pressuhallit ankkurointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.4.2015]. Saatavissa: <http://www.pressuhallit.fi/pressuhallit-mansardi20x24x45.php>
- Puuinfo. 2010. EC 5 Sovelluslaskelmat hallirakennus. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.1.2015]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus/0%20Osa%201.pdf>
- RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2011. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. RIL Ry.
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu. 2014. Jännitysvenymäkuvaaja. Tekniikan yksikkö, talonrakennustekniikka. Opetusmateriaali. Julkaisematon.
- SFS EN 1990. 2005. Eurocode: Rakenteiden suunnittelun perusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS EN 1991-1-4. 2005 Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

LIITTEET

Liite 1. Otteita ristikon savojen kestävyyksistä Aurodesk Robot Structurssta

Liite 2. Anturan kestävyysmitoitus

Liite 3. Hallin profiilikoot

Arkkitehtipiirustukset	Mittakaava
------------------------	------------

Liite 4. Asemapiirustus	1:500
-------------------------	-------

Liite 5. Julkisivut	1:100
---------------------	-------

Rakennepiirustukset	Mittakaava
---------------------	------------

Liite 6. Rakennepiirustukset	1:100
------------------------------	-------

Liite 7. Jäykistys	1:50
--------------------	------

LIITE 1. Otteita ristikon Savoien kestävyyksistä Aurodesk Robot Structurs:sta**STEEL DESIGN****CODE:** *SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.***ANALYSIS TYPE:** *Member Verification***CODE GROUP:****MEMBER:** 325 Beam_325
= 0.00 m**POINT:** 1**COORDINATE:** x = 0.00 L**LOADS:***Governing Load Case:* 4 ULS /3/ 1*1.15 + 2*1.35 + 3*1.15**MATERIAL:**S275 (S275) $f_y = 275.00$ MPa**SECTION PARAMETERS: UAP 100 x 40 x 3**

h=10.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=4.0 cm

Ay=8.27 cm²Az=4.51 cm²Ax=10.67 cm²

tw=0.3 cm

Iy=107.13 cm⁴Iz=21.33 cm⁴Ix=1.98 cm⁴

tf=0.8 cm

Wply=31.87 cm³Wplz=13.05 cm³**INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:**

N,Ed = -7.38 kN

Mz,Ed = -0.22 kN*m

Vy,Ed = -0.30 kN

Nt,Rd = 293.55 kN

Mz,pl,Rd = 3.59 kN*m

Vy,c,Rd = 131.38 kN

Mz,c,Rd = 3.59 kN*m

MN,z,Rd = 3.59 kN*m

Class of section = 1

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:*Section strength check:* $N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.03 < 1.00$ (6.2.3.(1)) $M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.06 < 1.00$ (6.2.5.(1)) $M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0.06 < 1.00$ (6.2.9.1.(2)) $V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))**LIMIT DISPLACEMENTS***Deflections* $u_y = 0.0$ cm $< u_{y,max} = L/200.00 = 0.4$ cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi $u_z = 0.0$ cm $< u_{z,max} = L/200.00 = 0.4$ cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi*Displacements Not analyzed*

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 384 Beam_384
= 0.91 m

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L

LOADS:

Governing Load Case: 4 ULS /3/ 1*1.15 + 2*1.35 + 3*1.15

MATERIAL:

S275 (S275) $f_y = 275.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: UAP 100 x 50 x 5

h=10.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=5.0 cm

Ay=9.75 cm²

Az=6.07 cm²

Ax=13.38 cm²

tw=0.5 cm

Iy=209.50 cm⁴

Iz=32.83 cm⁴

Ix=2.79 cm⁴

tf=0.9 cm

Wply=49.59 cm³

Wplz=17.83 cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 142.86 kN

Mz,Ed = 0.49 kN*m

Vy,Ed = -5.05 kN

Nc,Rd = 367.82 kN

Mz,pl,Rd = 4.90 kN*m

Vy,c,Rd = 154.72 kN

Nb,Rd = 367.82 kN

Mz,c,Rd = 4.90 kN*m

MN,z,Rd = 4.16 kN*m

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.39 < 1.00 (6.2.4.(1))

Mz,Ed/Mz,c,Rd = 0.10 < 1.00 (6.2.5.(1))

Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.12 < 1.00 (6.2.9.1.(2))

Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.03 < 1.00 (6.2.6.(1))

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 0.5 cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 0.5 cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi



Displacements Not analyzed

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 296 Beam_296
= 0.00 m

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L

LOADS:

Governing Load Case: 4 ULS /3/ 1*1.15 + 2*1.35 + 3*1.15

MATERIAL:

S275 (S275) $f_y = 275.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: 100x60x3 palkki

h=10.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=6.0 cm

Ay=3.38 cm²

Az=5.63 cm²

Ax=9.01 cm²

tw=0.3 cm

Iy=120.57 cm⁴

Iz=54.65 cm⁴

Ix=121.67 cm⁴

tf=0.3 cm

Wply=29.57 cm³

Wplz=20.79 cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 19.36 kN

Nc,Rd = 247.78 kN

Nb,Rd = 247.78 kN

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.08 < 1.00 (6.2.4.(1))

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 0.5 cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 0.5 cm

Verified

Governing Load Case: 2 Lumi



Displacements Not analyzed

Section OK !!!

LIITE 2. Anturan kestävyys mitoitus

Ankkurointi perustus

(Laskenta Fisen ohjeen mukaisesti)

Terästankojen pitokyky:

Pituus: $L = 100 \text{ cm}$

Halkaisija: $D = 16 \text{ mm}$

Maa-aines: asfalttipinta, jonka alla tiivis koheesiomaa

Max noste: $15\,580 \text{ N}$

$N = 8 \times L \times D \rightarrow 8 \times 100 \times 16 = 12\,800 \text{ N} \times 6 \text{ ankkuria} \rightarrow 76\,800 \text{ N}$

Käyttöaste 20%

Terästankojen leikkausvoiman kestävyys:

Tangon halkaisija: 14 mm

Tangon poikkipinta-ala: 154 mm^2

Murtolujuus: 235 N/mm^2

Max leikkausvoima: $34\,890 \text{ N}$

Kuusi terästankoa $\rightarrow 6 \times 154 \times 235 = 217\,140 \text{ N}$

Käyttöaste 16%

Paine maahan:

Pohjalevy: $500 \times 500 = 250\,000 \text{ m}^2$

Max pystysuuntainen voima: $84\,280 \text{ N}$

$\rightarrow 0,337 \text{ N/mm}^2$ (paine levyllä) – tankojen pitokyky $76,8 \text{ kN} = 7,48 \text{ kN}$

\rightarrow ankkureita 6 kpl $0,023 \text{ N/mm}^2$

Tulos:

Hallin ankkurointi perustuksessa käytetään vähintään 6kpl harjateräksiä (Ø16mm ja pituus 1000mm)

Lähde: <http://www.pressuhallit.fi/pressuhallit-perustaminen.pdf>

Liite 3. Hallin profiilikoot**Hallin profiilit:***Kattoristikko:*

Yläpaarre:	U-profiili 100 x 50 x 4 x 4, S 275
Alapaarre:	U-profiili 100 x 50 x 4 x 4, S 275
Diagonaalit:	U-profiili 100 x 40 x 3 x 3, S 275

Rungon ristikkopilarit:

RHS 100 x 60 x 4, S 275

Katto-orret:

RHS 70 X 70 X 3, S 355

Liitos:

Ruuvit M16, 8.8

Päätylevy 150 x 100, t = 10 mm

Jäykisteet:

Päädyn mastojäykistys: RHS 180 X 180 X 10, S 355

Katon ristikkojäykistys: RHS 70 X 70 X 5, S 355

Pituussuuntainen jäykistys: RHS 120 X 120 X 5, S 355

Liitos:

Ruuvit M30, 8.8

Liitoslevyt 230 x 120, t = 20 mm

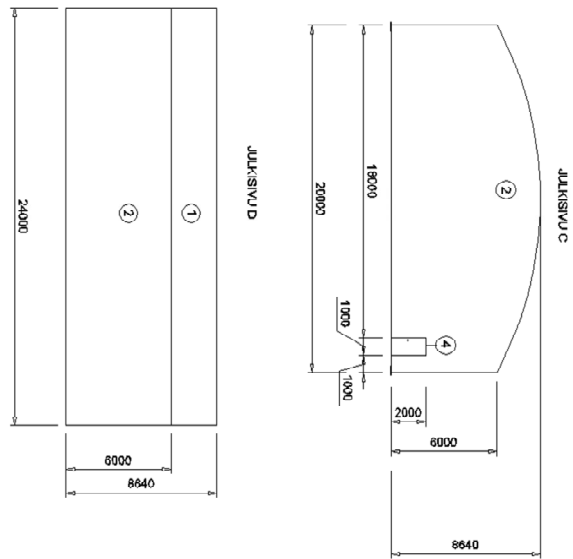
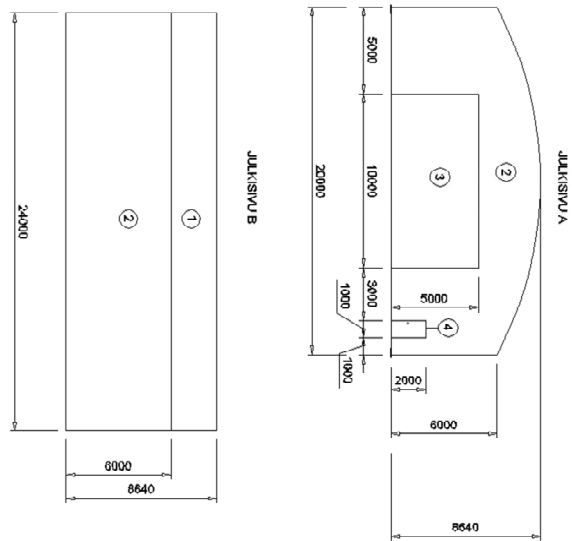
Perustus:

Pohjalevy 500 x 500 x 15
 6 kpl harjateräksiä Ø 16 mm
 pituudeltaan 1 000 mm

Liite 4. Asemapiirustus



LIITE 5. JULKISIVUKUVAT

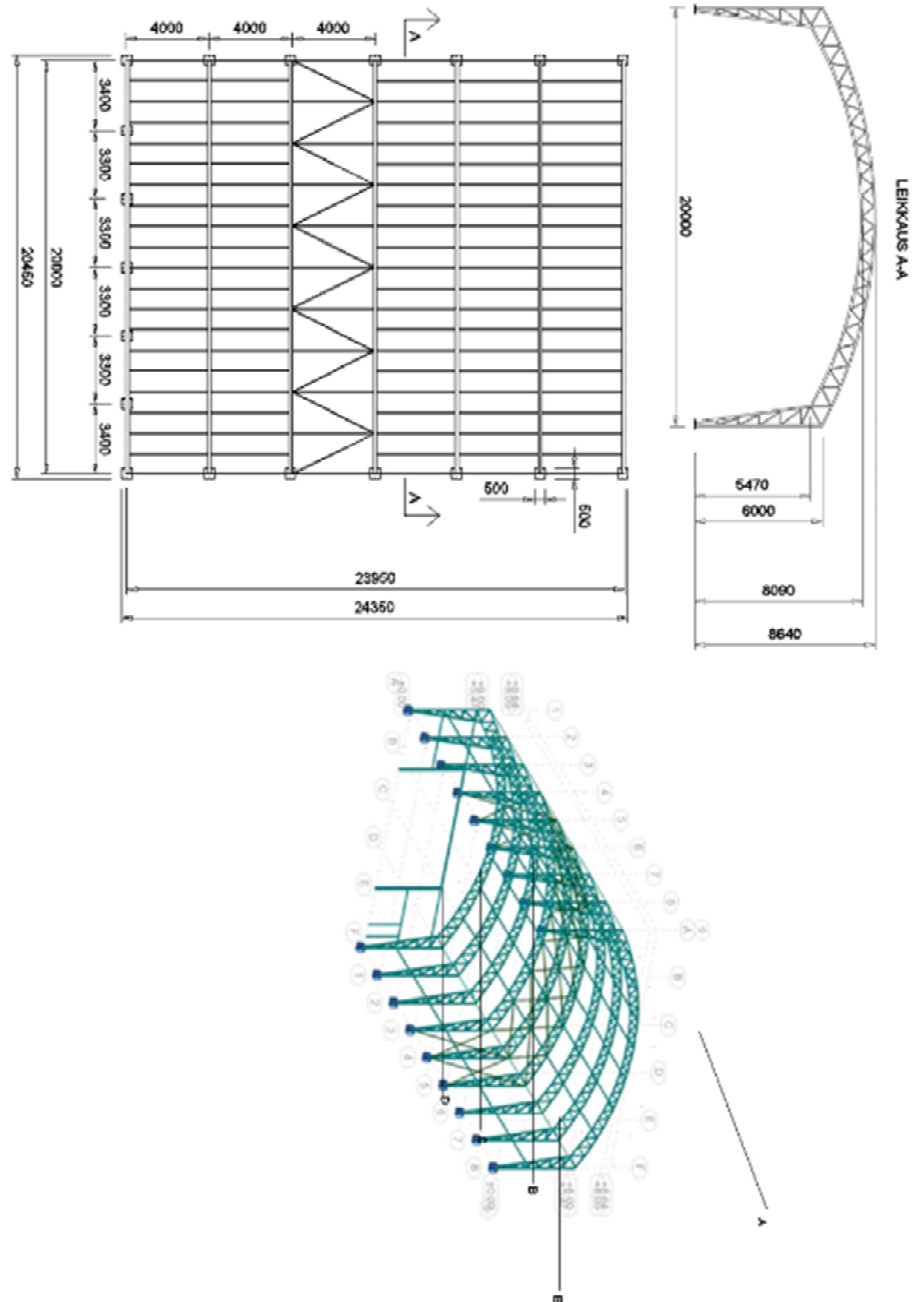


JULKISMATERIAALIT

1. PINNOITETTU POLYESTERIKANGAS, VALKOINEN
2. PINNOITETTU POLYESTERIKANGAS, HARMAA
3. YLSRULLATTAVA POLYESTERI OVI
4. KÄYNTIOVI

PÄIV. LUOK. TILITUS		PÄIV. TILA	
Tilauksen nimi	Tilauksen sisältö	Tilauksen sisältö	Tilauksen sisältö
UUSISÄÄNNÖS	UUSISÄÄNNÖS	UUSISÄÄNNÖS	UUSISÄÄNNÖS
VARASTOHALI	VARASTOHALI	VARASTOHALI	VARASTOHALI
JULKISIVUKUVAT		JULKISIVUKUVAT	
4.5.2014		4.5.2014	
HELEN POLAS		HELEN POLAS	
ARK		ARK	
/		/	
1:100		1:100	

LIITE 6. RAKEENPIIRUSTUKSET

[illegible]

